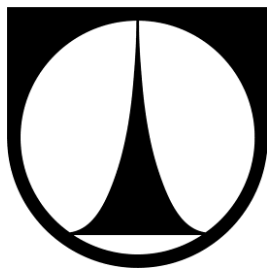


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**ÚPRAVA MALÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU NA
ALKOHOLOVÉ PALIVO**

ADAPTATION OF A SMALL SPARK IGNITION ENGINE
FOR ALCOHOL FUEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

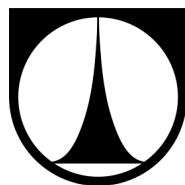
Martin Novotný

Květen 2013

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor 2302R022

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**ÚPRAVA MALÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU NA
ALKOHOLOVÉ PALIVO**

**ADAPTATION OF A SMALL SPARK IGNITION ENGINE FOR
ALCOHOL FUEL**

Bakalářská práce

KVM – BP – 295

Martin Novotný

Vedoucí diplomové práce: Michal Vojtíšek, M.Sc. Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Pechout

Počet stran: 46

Počet obrázků: 26

Počet tabulek: 8

Květen 2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Martin NOVOTNÝ**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Obor: **2302R022 Stroje a zařízení**

Zaměření: **Dopravní stroje a zařízení**

Ve smyslu ZÁKONA č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

ÚPRAVA MALÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU NA ALKOHOLOVÉ PALIVO

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

Cílem práce je navrhnout a realizovat úpravy zážehového motoru zahradní sekačky pro provoz na alkoholové palivo obsahující etanol nebo butanol.

1. Popište současný stav poznání v oblasti využití etanolu a butanolu v malých zážehových motorech.
2. Na základě studia literatury a nebo vlastních měření popište typické provozní podmínky motoru zahradní sekačky.
3. Pro konkrétní typ motoru proveďte rozvalu nutných úprav pro provoz na E85 nebo na čistý butanol nebo jeho směs s benzínem. Pro další postup vyberte po konzultaci konkrétní palivo.
4. Proveďte rozvalu kompatibility alkoholových paliv s materiály používanými v motoru (např. těsnění, palivové hadice, apod.), v případě potřeby experimentálně ověřte vlastnosti vybraných dílů.
5. Navrhněte a realizujte doporučené úpravy.
6. Ve vybraných provozních režimech proveďte zkoušky, a to (a) před úpravami na benzín a (b) po úpravách na benzín (je-li motor takového provozu schopen) a na zvolené alkoholové palivo. Zkoušky musí obsahovat start studeného motoru.

Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

1. Matějovský, V.: Automobilová paliva. Grada 2004. ISBN 80-247-0350-5
2. Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vydání. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5
3. Vlk, F.: Paliva pro spalovací motory. 1. vydání. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5
4. Pospíšil, M. – Šiška, J. – Šebor, G.: Biobutanol jako pohonná hmota v dopravě [online]. [2007]. URL: <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/54088.aspx>
5. Trnka, M.: Malý spalovací motor na alkoholová paliva. Diplomová práce, TU v Liberci, 2010
6. Szwaja, S. – Naber, J.D.: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel 89, 2010, 1573-1582
7. Effects of Intermediate Ethanol Blends of Legacy Vehicles and Small Non-Road Engines. National Renewable Energy Laboratory, USA, 2009

Vedoucí bakalářské práce: Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D. - TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Pechout - TU v Liberci, KVM



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

vedoucí katedry



doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

děkan

V Liberci dne 1. 11. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



ÚPRAVA MALÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU NA ALKOHOLOVÉ PALIVO

Anotace

Úvodní část bakalářské práce pojednává o experimentech s malými spalovacími motory, které již proběhly ve světě. V další kapitole jsou popsány provozní podmínky motoru, který byl pro tuto práci použit. Dále se zde popisují evropské emisní normy malých zážehových motorů. Stěžejní část se zaměřuje na teoretické řešení úpravy motoru na alkoholová paliva, a to úpravy bohatosti směsi a vyšetření kompatibility materiálů s palivy. Závěr práce popisuje a vyhodnocuje provedený experiment, kde je kladen důraz na vzniklé výfukové emise, spotřebu a teplotu výfukových plynů.

Klíčová slova: alkoholová paliva, butanol, etanol, emise, malý zážehový motor

ADAPTATION OF A SMALL SPARK IGNITION ENGINE FOR ALCOHOL FUEL

Annotation

The first part of the bachelor thesis deals with conducted experiments on small spark ignition engines abroad. In the following part operating conditions of engine are described, which were used for this thesis. There are also described European emission standards small spark ignition engines. The main part is focused on for evaluation theoretical solutions of the engine modification for alcohol fuels, mainly on the change of the mixture richness and the on materials compatibility with fuels. The final part describes and analyses the performed experiment, where the main issue are exhaust emissions, fuel consumption and the exhaust gas temperature.

Key words: alcohol fuels, butanol, ethanol, emissions, small spark ignition engine

Zpracovatel:	TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno :	2013
Archivní označení zprávy:	

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....

Martin Novotný

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Michalu Vojtíškoví, M.Sc., Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat konzultantům Ing. Martinu Pechoutovi a Ing. Martinu Mazačovi za cenné rady, připomínky, ochotu a čas, který mi při konzultacích věnovali. Velké díky patří mé rodině a blízkým, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia.

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	8
Seznam symbolů a jednotek	10
1 Úvod	12
2 Malé spalovací motory na alkoholová paliva	13
3 Provozní podmínky zahradní sekačky	15
4 Emisní normy pro nesilniční zážehové motory	16
4.1 Rozdělení malých zážehových motorů dle Evropských směrnic	16
4.2 Metodika zkoušky	16
4.2.1 Postup zkoušky	18
4.3 Tabulka Evropských emisních limitů	18
5 Alkoholová paliva pro spalovací motory	19
5.1 Etanol	19
5.1.1 Výhody a nevýhody etanolu	19
5.2 Butanol	20
5.2.1 Výroba butanolu	20
5.2.2 Zdroje pro výrobu	21
5.3 Porovnání paliv	21
6 Nutné úpravy motoru na alkoholová paliva	22
6.1 Motor	22
6.2 Úpravy množství paliva	24
6.2.1 Karburátor	24
6.2.2 Výpočet množství paliva	25
6.2.3 Výpočet průměrů trysek	28
6.3 Kompatibilita paliv s materiály	28
6.3.1 Palivová nádrž	29
6.3.2 Palivové vedení	29
6.3.3 Části karburátoru	29
6.3.4 Části motoru	29
6.3.5 Experiment	30

7	Experimentální měření	31
7.1	Princip měření	31
7.2	Vlastní měření	32
7.2.1	Režimy pro měření.....	32
7.3	Výpočet emisí	33
7.4	Výpočet specifické spotřeby	33
7.5	Specifické emise.....	34
7.6	Specifická spotřeba	39
7.7	Průměrné teploty výfukových plynů	40
7.7.1	Spalování benzínu	42
7.7.2	Spalování E85.....	42
7.7.3	Spalování butanolu	42
8	ZÁVĚR	43
	Seznam použité literatury	44

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: Závislost točivého momentu a měrné spotřeby na otáčkách. [4]

Obrázek 2: Závislost objemu CO_2 a NO_x na otáčkách. [4]

Obrázek 3: Závislost objemu CO a uhlovodíků na otáčkách. [4]

Obrázek 4: Závislost objemu CO a CO_2 na podílu etanolu. [5]

Obrázek 5: Závislost objemu HC a NO_x na podílu etanolu. [5]

Obrázek 6: Schéma výroby butanolu.[11]

Obrázek 7: motor Honda GX31. [12]

Obrázek 8: Charakteristika motoru udávaná výrobcem. [12]

Obrázek 9: Karburátor Walbro WYL-74-1. [13]

Obrázek 10: Části membrány ponořených do jednotlivých paliv.

Obrázek 11: Schéma uspořádání měření.

Obrázek 12: Graf specifických emisí CO při minimálním zatížení.

Obrázek 13: Graf specifických emisí CO při 50% zatížení.

Obrázek 14: Graf specifických emisí CO při 100% zatížení.

Obrázek 15: Graf specifických emisí HC při minimálním zatížení.

Obrázek 16: Graf specifických emisí HC při 50% zatížení.

Obrázek 17: Graf specifických emisí HC při 100% zatížení.

Obrázek 18: Graf specifických emisí NO_x při minimálním zatížení.

Obrázek 19: Graf specifických emisí NO_x při 50% zatížení.

Obrázek 20: Graf specifických emisí NO_x při 100% zatížení.

Obrázek 21: Graf specifické spotřeby při minimálním zatížení.

Obrázek 22: Graf specifické spotřeby při 50% zatížení.

Obrázek 23: Graf specifické spotřeby při 100% zatížení.

Obrázek 24: Graf průměrných teplot při minimálním zatížení.

Obrázek 25: Graf průměrných teplot při 50% zatížení.

Obrázek 26: Graf průměrných teplot při 100% zatížení.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení motoru podle Evropských směrnic. [8]

Tabulka 2: Režimy zkoušky u cyklu D. [8]

Tabulka 3: Režimy zkoušky u cyklu G1. [8]

Tabulka 4: Režimy zkoušky u cyklu G2. [8]

Tabulka 5: Režimy zkoušky u cyklu G3. [8]

Tabulka 6: Emisní limity pro dané třídy motorů. [9]

Tabulka 7: Porovnání paliv.

Tabulka 8: Technické specifikace motoru.

Seznam symbolů a jednotek

CO	oxid uhelnatý	
CO ₂	oxid uhličitý	
NO _x	oxidy dusíku	
HC	uhlovodíky	
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]
L_t	teoretické množství vzduchu	[kg/kg]
m_c	hmotnostní podíl uhlíku v palivu	[-] [%]
m_{H_2}	hmotnostní podíl vodíku v palivu	[-] [%]
m_S	hmotnostní podíl síry v palivu	[-] [%]
m_{O_2}	hmotnostní podíl kyslíku v palivu	[-] [%]
m_{vz}	hmotnost vzduchu	[kg]
m_p	hmotnost paliva	[kg]
ρ_{Bu}	hustota butanolu	[kg/m ³]
ρ_{E85}	hustota E85	[kg/m ³]
ρ_{Be}	hustota benzínu	[kg/m ³]
ρ_E	hustota etanolu	[kg/m ³]
ρ_p	hustota paliva	[kg/m ³]
V_{Bu}	objem butanolu	[m ³]
V_{Be}	objem benzínu	[m ³]
V_E	objem etanolu	[m ³]
V_{Be}	objem benzínu	[m ³]
D_{Be}	průměr trysky na benzín	[mm]
S_{Be}	obsah průřezu trysky na benzín	[mm ²]
S_{E85}	obsah průřezu trysky na E85	[mm ²]
D_{E85}	průměr trysky na E85	[mm]
D_E	průměr trysky na etanol	[mm]
D_{Bu}	průměr trysky na butanol	[mm]
\dot{V}_{CO}	objemový tok CO	[m ³ /h]
\dot{V}_C	objemový tok ředicím tunelem	[m ³ /h]
C_{CO}	podíl CO ve zředěných emisích	[-] [%]
\dot{m}_{CO}	hmotnostní tok CO	[m ³ /h]

ρ_{CO}	hustota CO	[kg/m ³]
p	atmosférický tlak	[pa]
R	molární plynová konstanta	[J/kmol·K]
M_{CO}	molární hmotnost CO	[kg/mol]
T	termodynamická teplota	[K]
P	výkon	[W]
n	otáčky	[min ⁻¹]
M_k	točivý moment	[Nm]
\dot{m}_C	celkový hmotnostní tok uhlíku v plynech	[g/h]
\dot{m}_{CO_2}	hmotnostní tok uhlíku obsaženého v CO ₂	[g/h]
\dot{m}_{CO}	hmotnostní tok uhlíku obsaženého v CO	[g/h]
M_C	molární hmotnost uhlíku	[kg/mol]
M_{CO_2}	molární hmotnost CO ₂	[kg/mol]
SFC	specifická spotřeba paliva	[g/kW·h]
Ψ	fluidní hodnota odpařování	[-]

Seznam zkratk

PVC	polyvinylchlorid
HDPE	High-density polyethylene
PET	polyethylentereftalát
E85	směs etanolu a benzínu s obsahem 85% etanolu
PLC	programmable logic controller
FFV	flexi fuel vehicle
OHV	over head valve
PU	polyuretan

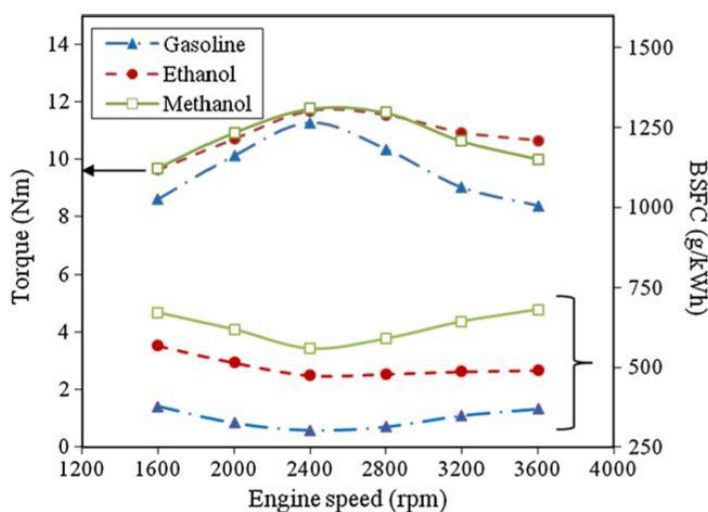
1 Úvod

První spalovací motory, které využívají paliva vyráběné z ropy, byly sestrojeny před více než 136 lety. Postupem času se motory začaly využívat v čím dál větším měřítku. Stroje, které používají spalovací motor, se staly nedílnou součástí našich životů. S přibývajícím využíváním motorů roste odbyt a zpracování ropy. Ropa však není nevyčerpatelný zdroj. To znamená, že lidstvo jednou nebude moci vyrábět naftu a benzín, bez kterých se provoz většiny spalovacích motorů neobejde. Experti odhadují, že kolem roku 2030 klesnou zásoby ropy na jednu desetinu celkového dnešního množství. Také odhadují, že mezi rokem 2050-2100 budou všechna ložiska ropy, o kterých dnes víme, vytěžena.[1] Dalším problémem je, že většina ropy se musí do Evropy dovážet, čímž vzniká určitá nejistota, především v souvislosti s tím, že podstatná část ropy se dováží z nestabilních oblastí světa. Spalování klasických paliv vyráběných z ropy přináší další problém, a tím je negativní dopad na ekologii. Hlavním negativním vlivem pro dopad na ekologii je znečištění ovzduší. Ke vzniku emisí dochází především vlivem nedokonalého spalování pohonných hmot. Mezi nejdůležitější látky v emisích jsou NO_x , CO_2 , HC a CO. Škodlivé látky, které jsou vypouštěny do ovzduší mají negativní vliv na lidské zdraví, způsobují vznik kyselých dešťů a přispívají ke skleníkovému jevu. Z tohoto důvodu se začínají po světě zavádět opatření, které tyto emise snižují. Jedním z možných opatření je použití alternativních paliv. Při spalování alkoholových paliv dochází ke snížení emisí CO a uhlovodíků. Naopak hodnoty škodlivin NO_x bývají vyšší než u benzínu. Souhrnně tedy lze říct, že alkoholová paliva mají příznivý vliv na snížení emisí.[2] Na produkci škodlivin mají nedílný vliv emise, které vznikají od malých zážehových motorů. Proto je nutné se emisemi zabývat a brát na ně zřetel.

Tato práce se bude zabývat úpravou malého zážehového motoru na alternativní - alkoholová paliva.

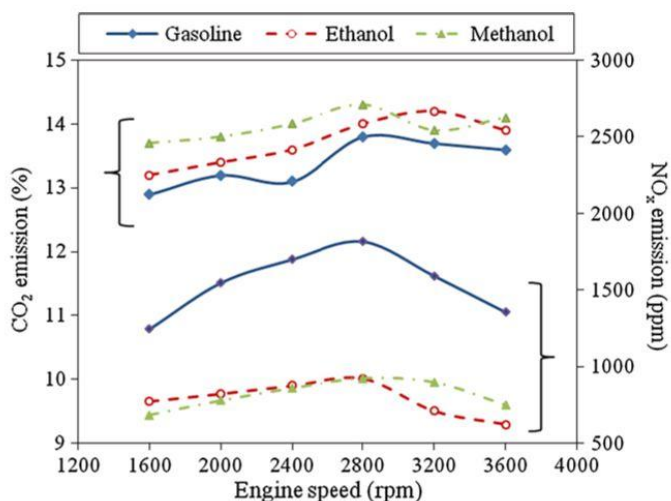
2 Malé spalovací motory na alkoholová paliva

V dnešní době se ve světě malé spalovací motory pouze na alkoholová paliva komerčně nepoužívají. Výrobci malých spalovacích motorů Briggs&Stratton a Tecumseh však prodávají sadu na úpravu karburátoru pro směs benzínu s etanolem do 25 % podílu etanolu [3]. Tato sada se skládá z těsnění a membrán, které jsou odolné proti etanolu, a z trysek. Bylo provedeno několik experimentálních prací s malými zážehovými motory na alkoholová paliva, které se zaměřovaly na vzniklé emise. Například Mustafa Kemal Balki a kolektiv provedli měření vlivu alkoholových paliv na výkon, emise a spalovací charakteristiku jednoválcového čtyřtákního motoru o výkonu 2 kW.[4] Výsledky byly porovnávány se stejným motorem na benzín. Měření bylo provedeno při plně otevřené škrtící klapce a při různém zatížení. Jako palivo byl použit metanol, etanol a benzín. Pro obohacování směsi paliva experimentátoři upravovali průřez trysky v karburátoru kónickým šroubem. Výsledky měření ukázaly, že s alkoholovými palivy se zvýšil točivý moment. Viz Obr. 1. Dále se zvýšila tepelná účinnost na brzdě a účinnost spalování.

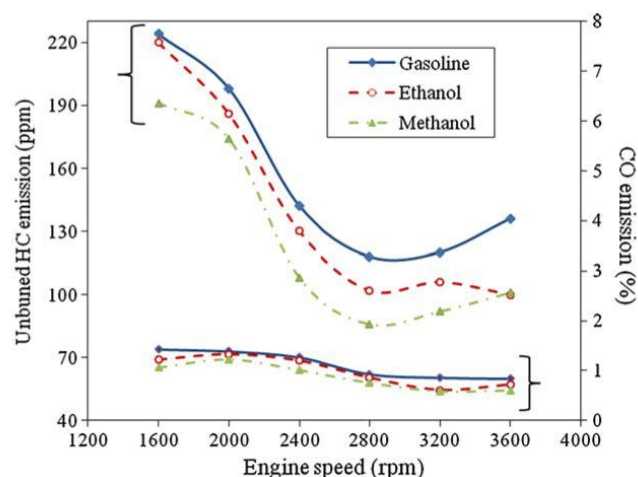


Obr. 1: Závislost točivého momentu a měrné spotřeby na otáčkách [4]

Při měření škodlivin vzrostl objem CO_2 , naopak objem HC, NO_x , CO klesl. Viz Obr. 2. a 3. Některé výsledky tohoto měření neodpovídaly předpokladům a dalším experimentům [2,5,6]. Hodnoty CO_2 by měly u spalování alkoholů za stejných podmínek klesnout, jelikož tato paliva mají menší poměr uhlíku a vodíku v molekule paliva. Specifická spotřeba etanolu oproti benzínu stoupla většinou na dvojnásobek. Teoreticky by však měla stoupnout zhruba o 30 %. Tato práce mě motivovala k vlastnímu měření.

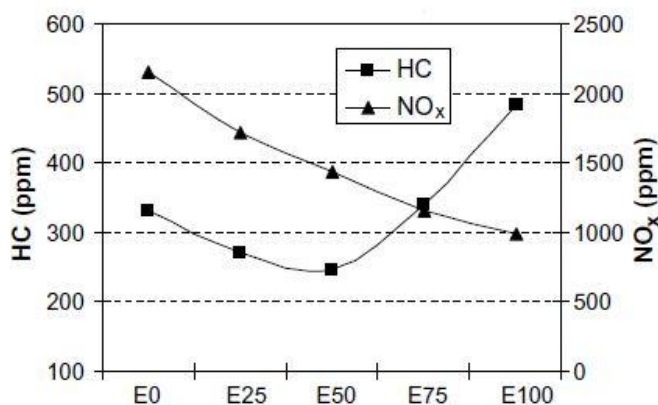


Obr. 2: Závislost objemu CO₂ a NO_x na otáčkách. [4]

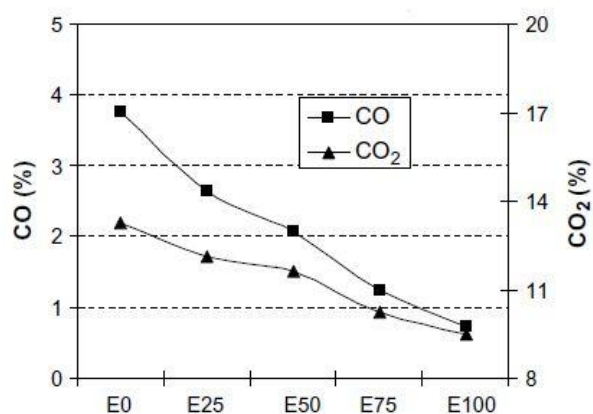


Obr. 3: Závislost objemu CO a uhlovodíků na otáčkách. [4]

Další výzkumný tým pracoval s motorem o objemu 250 cm³. Testovány byly směsi benzínu s přidáním etanolem, a to až do 100% obj. Se zvyšováním podílu etanolu v benzínu hodnoty NO_x, CO, CO₂ klesaly. Nejnižší koncentrace nespálených uhlovodíků byla zaznamenána při poměru 50 % obj. Nejvyšší u čistého etanolu. Důvodem bylo přílišné ochuzení směsi. Viz Obr. 4 a 5.



Obr. 4: Závislost objemu CO a CO₂ na podílu etanolu.[5]



Obr. 5: Závislost objemu HC a NO_x na podílu etanolu.[5]

I. Gravalos a kolektiv provedli výzkum na motoru o objemu 143 cm³. Do benzínu byl přidáván metanol, etanol, propanol, butanol a pentanol v různých poměrech. Zastoupení etanolu bylo od 2 do 22 %. Ostatní alkoholy byly zastoupeny do 5 % v celkovém objemu. Výsledky ukázaly, že při zvýšení podílu alkoholů klesly podíly CO a HC. CO₂ a NO_x se naopak zvýšily [6].

3 Provozní podmínky zahradní sekačky

Pro tuto práci byla možnost výběru jednoho ze dvou motorů, a to motor křovinořezu nebo motor zahradní bubnové sekačky.

Motor křovinořezu je používán v různém rozsahu zatížení a otáček. Dochází k výrazným změnám otáček a zatížení, což na motor klade vysoké nároky z hlediska regulace palivové soustavy. Pracovní oblast motoru se dá rozdělit do čtyř stavů. První z nich je běh na prázdko. To je stav, kdy energie, která je přivedena do motoru v podobě paliva je spotřebována pouze na mechanické a tepelné ztráty. Motor nevykonává žádnou užitečnou práci. Druhým, nejčastějším stavem je částečné zatížení, kdy motor pracuje ve velkém spektru otáček. V této oblasti se klade důraz na nízkou spotřebu při nízkých hodnotách emisí. Další oblast, plné zatížení je málo využívaná. V ní je požadavek na co nejvyšší výkon motoru. Motor pracuje z velké části v nestacionárním stavu, kdy přechází z jednoho ustáleného stavu do jiného. Příkladem je akcelerace a decelerace, změna zatížení vlivem proměnného množství dělené biomasy. Speciální stav je spuštění a ohřev motoru, kdy je motor studený a má vyšší mechanické ztráty. Motor tedy potřebuje více energie, která je dodávána obohacením směsi paliva. Křovinořezy jsou využívány v sezóně od jara do zimy. Udávaná spotřeba paliva křovinořezu, který je upravován, je 340 g/kWh. Chlazení motoru je vzduchové a je zajištěno ventilátorem, který je přímo spojený s klikovou hřídelí.

Provozní podmínky bubnové zahradní sekačky jsou rozdílné. Bubnová sekačka pracuje se stacionárním motorem. Znamená to, že nemá regulaci otáček pedálem či ručním plynem. Otáčky jsou konstantní. Motor je nastaven tak, že po nastartování se udržuje na otáčkách okolo 3000 min⁻¹. Po té, co sekačka zajede do trávy, zvýší se zatížení motoru, Wattův regulátor otáček poháněný klikovou hřídelí otvírá škrticí klapku, zvýší množství paliva a tím udrží otáčky na konstantní úrovni. Regulátor se skládá ze dvou závaží, které jsou na ramenech k sobě připevněny kloubem a otáčejí se kolem osy. Vlivem odstředivé síly se závaží vychylují a přes pákový mechanismus se ovládá škrticí klapka karburátoru.

Pro tuto práci byl vybrán motor křovinořezu, který má svůj zkušební stav. Důvodem byla extrémně dlouhá zima, která měla za následek opožděný růst trávy. Tím pádem nebyla možnost provést experimentální měření se zahradní bubnovou sekačkou.

4 Emisní normy pro nesilniční zážehové motory

Emisní normy pro nesilniční zážehové motory jsou důležité, protože tyto motory se významně podílejí na celkových emisích mobilních strojů, a to 26 % HC a 23 % CO. [7] Agentura ochrany životního prostředí EPA přepokládá, že výrobci do roku 2030 sníží emise HC o 34 %. [7] Právě v této skupině jsou zastoupeny malé zážehové motory, které mají mít dle normy výkon nižší než 19 kW.[8]

4.1 Rozdělení malých zážehových motorů dle Evropských směrnic

Hlavní třída S: malé motory s netto výkonem ≤ 19 kW

Hlavní třída S se rozděluje do dvou kategorií:

Motory pro ručně držené stroje označené písmenem H (handheld).

Motory pro stroje jiné než ručně držené označené písmenem N (non handheld). [8]

Třída/kategorie:	Zdvihový objem [cm ³]:
Ručně držené motory	
Třída SH:1	< 20
Třída SH:2	≥ 20 < 50
Třída SH:3	≥ 50
Motory jiné než ručně držené	
Třída SN:1	< 66
Třída SN:2	≥ 66 < 100
Třída SN:3	≥ 100 < 225
Třída SN:4	≥ 225

Tab. 1: Rozdělení motoru podle Evropských směrnic [8].

4.2 Metodika zkoušky

Podle druhu motoru se provedou na dynamometru následující cykly:

Cyklus D: Motory, které mají konstantní otáčky s různým zatížením. Mezi tuto kategorii patří například elektrické generátorové agregáty s proměnlivým zatížením, svařovací generátory.

Cyklus D					
Číslo režimu	1	2	3	4	5
Otáčky motoru	jmenovité				
Zatížení [%]	100	75	50	25	10

Tab. 2: Režimy zkoušky u cyklu D [8].

Cyklus G1: Zařízení, které jsou jinak než ručně držené s proměnlivými otáčkami. Do této kategorie patří golfové vozíky či zahradní sekačky s rotujícím válcem nebo nožem.

Cyklus G1						
Číslo režimu	1	2	3	4	5	6
Otáčky motoru	Mezilehlé					Dolní volnoběžné
Zatížení [%]	100	75	50	25	10	0

Tab. 3: Režimy zkoušky u cyklu G1 [8].

Cyklus G2: Zařízení, které jsou jinak než ručně držené, se jmenovitými otáčkami. Patří sem například přenosné generátory, čerpadla a některé zahradní sekačky.

Cyklus G2						
Číslo režimu	1	2	3	4	5	6
Otáčky motoru	Jmenovité					Dolní volnoběžné
Zatížení [%]	100	75	50	25	10	0

Tab. 4: Režimy zkoušky u cyklu G2 [8].

Cyklus G3: Ručně držená zařízení. Do této kategorie patří řetězové pily, přenosné nůžky na živé ploty s vlastním pohonem, strunové vyžínače a další.

Cyklus G3						
Číslo režimu	1					2
Otáčky motoru	Jmenovité					Dolní volnoběžné
Zatížení [%]	100					0

Tab. 5: Režimy zkoušky u cyklu G3 [8].

Jmenovité otáčky jsou maximální otáčky, které regulátor dovolí při plném zatížení.

Mezilehlé otáčky jsou otáčky, které splňují jednu z následujících podmínek:

- jestliže hodnota otáček maximálního točivého momentu motoru mezi 60 a 75 % jmenovitých otáček, pak právě otáčky maximálního točivého momentu jsou otáčkami mezilehlými.
- jestliže hodnota otáček maximálního točivého momentu je menší než 60 % nebo větší než 75 % jmenovitých otáček, pak hodnota mezilehlých otáček je právě 60 % respektive 75 % otáček jmenovitých.

4.2.1 Postup zkoušky

Motor se zahřeje tak, aby se stabilizovaly parametry motoru dané výrobcem. Ve vzestupném pořadí se vykonají režimy, které jsou dané cyklem.

V každém režimu musí trvat odběr nejméně 180 sekund. Daný režim musí trvat dostatečně dlouho dobu, aby motor docílil pro měřený bod stabilní teploty. K určení plyných emisí se pro každý režim určí střední hodnota za posledních 120 sekund režimu. Ve všech režimech se určí koncentrace HC, CO a NO_x. Dále následuje výpočet emisních hodnot, které nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce 6. Výpočet je uveden v Evropských směrnicih 2002/88/EC [8].

4.3 Tabulka Evropských emisních limitů

třída motoru:	Etapa 1:				Etapa 2:		
	CO	HC	NO _x	platnost od:	CO	HC+NO _x	platnost od:
	[g/kWh]				[g/kWh]		
SH:1	805	295	5.36	11. 8. 2004	805	50	1. 8. 2007
SH:2	805	241	5.36	11. 8. 2004	805	50	1. 8. 2007
SH:3	603	161	5.36	11. 8. 2004	603	72	1. 8. 2008
SN:1	519	HC+NO _x =50		11. 8. 2004	610	50	1. 8. 2004
SN:2	519	HC+NO _x =40		11. 8. 2004	610	40	1. 8. 2004
SN:3	519	HC+NO _x =16.1		11. 8. 2004	610	16.1	1. 8. 2007
SN:4	519	HC+NO _x =13.4		11. 8. 2004	610	12.1	1. 8. 2006

Tab. 6: Aktuální emisní limity pro dané třídy motorů. [9]

5 Alkoholová paliva pro spalovací motory

5.1 Etanol

Etanol je látka, která se v přírodě vyskytuje jen v malém množství. V dnešní době se běžně používá jako náhrada benzínu ve spalovacích motorech, přičemž je to jedno z nejstarších alternativních paliv. První pokusy s příměsí etanolu do benzínu se testovaly již v roce 1873 ve Francii. Etanol se nejvíce využívá v Brazílii, kde se od 20. let 20. století začaly využívat upravené zážehové motory, které umožňovaly spalování palivové směsi s vysokým obsahem etanolu (až 95 %). Díky tomu klesl dovoz ropy do Brazílie o 50 % [10]. Jedním z důvodů využívání etanolu bylo snížení emisí ve velkých městech. V současnosti je užívání etanolu jako paliva na vzestupu hlavně v USA, kde má etanol v benzínu desetiprocentní podíl. V Evropě se etanol používá jako příměs do benzínů nebo přímo jako palivo ve speciálně upravených vozech, a to především v autobusech MHD. Výrobce automobilů Ford prodává automobily s označením FFV (flexi fuel vehicle). Jsou to vozy, které mají odolnější ventilová sedla, upravené palivové vedení a nádrž. Ve vozidle je také upravena řídicí jednotka, která umí pracovat s jakýmkoliv poměrem mezi benzínem a etanolem. Pro studený start je automobil vybaven předehřátím motoru, které je napájeno z elektrické sítě. Kromě toho dnes řada výrobců prodává sadu pro přestavbu běžných benzínových vozidel na palivo E85. Tato sada se skládá z jednotky, která rozpozná poměr mezi palivy a dle potřeby upraví délku vstřiku.

U nás se etanol používal jako palivo zejména z důvodu nedostatku klasických paliv. Zájem o etanol po druhé světové válce upadl a projevil se znovu až v druhé polovině 90. let. Jeho výroba a užívání v České republice dnes plyne z požadavků Evropské unie. Od 1. ledna 2008 se povinně přidávají do benzínu 2 % etanolu a tento obsah se má v budoucnu plánovaně zvyšovat. Etanol se také používá v potravinářském průmyslu.

5.1.1 Výhody a nevýhody etanolu

Etanol má vyšší oktanové číslo než benzín. To znamená, že má vyšší antidetonační odolnost. Díky většímu oktanovému číslu je možné zvýšit kompresní poměr motoru. V motoru se lépe spaluje, se zvýšením účinnosti se zvýší výkon motoru. Obecně má nižší emise při spalování než benzín.

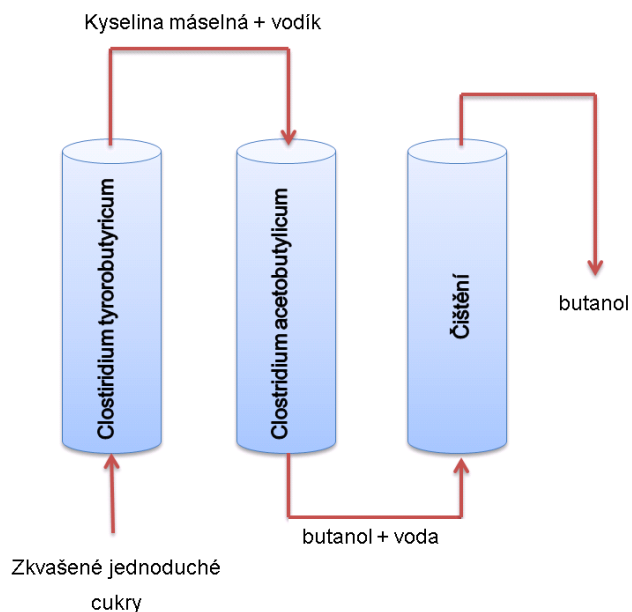
Etanol má nižší výhřevnost takže motor má vyšší měrnou spotřebu. Další nevýhoda je nízká mazací schopnost, kterou je ale možné zvýšit přidáním aditiv. Dále způsobuje korozi kovových materiálů, napadá plastické hmoty a odstraňuje oleje. Díky vyšší zápalné teplotě, která je 425 °C, etanol zhoršuje startovatelnost motoru při nízkých teplotách.

5.2 Butanol

Butanol je mnohem lepší alternativou motorových paliv v porovnání s etanolem či metanolem, a to díky lepším fyzikálně-chemickým vlastnostem. Obsahuje čtyři atomy uhlíku. Etanol pouze dva, tudíž butanol má energetický obsah skoro o 30 % větší. Oproti benzínu má vyšší viskozitu. Předností butanolu je to, že na rozdíl od etanolu může být přidáván do motorových benzínů ve vyšší koncentraci, až 10 % obj. a lze jej používat bez nutnosti úpravy motoru či řídicí jednotky. Butanol na sebe tolik neváže vodu jako etanol a je tedy i méně korozivní pro kovové nádrže a potrubí. Může být dopravován již existujícím zařízením. Je z hlediska manipulace bezpečnější: Fluidní hodnota odpařování ψ (dle Reida) je u butanolu 0,33, u etanolu 2 a u benzínu 4,5. To znamená, že se méně odpařuje za vyšších teplot, a je tak vhodný jako motorové palivo pro teplejší oblasti. Je to látka přírodního původu, takže je dobře biologicky odbouratelný a představuje menší ohrožení půdy i vody.

5.2.1 Výroba butanolu

Pro maximální produkci butanolu se dnes využívá technologie nových druhů mikroorganismů, a to *Clostridium tyrobutyricum* a *Clostridium acetobutylicum*. Prvním krokem výroby je rozemletí zrnin, či jiných rostlin s vysokým obsahem škrobu, a snížení obsahu neškrobových látek. Dále následuje sterilizace. Dalším krokem je konverze do fermentačně využitelného cukru. Následuje fermentace kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* v prvním fermentoru, který přemění glukózu na kyselinu máselnou (a vodík). Obsah je pomocí čerpadla a potrubí přečerpán do druhého fermentoru, kde se kyselina máselná fermentuje pomocí kvasinek *Clostridium acetobutylicum* na butanol. Na druhý fermentor navazuje zařízení pro oddělení butanolu od ostatních látek (z velké části vody) pomocí odstředivek, polopropustných membrán, čištění pomocí CO_2 atd. Ke konečné destilaci přichází butanol pouze s 10 % vody. Viz schéma.



Obr. 6: Schéma výroby butanolu.[11]

5.2.2 Zdroje pro výrobu

Zdroje pro výrobu butanolu jsou: Rostliny s vysokým obsahem sacharidů, jako je cukrová řepa nebo cukrová třtina; rostliny s dostatečným obsahem škrobu, jako jsou brambory, kukuřice, pšenice, ječmen či triticeale; lignocelulózová biomasa stromů, tráva, seno, sláma, ale i z organického podílu komunálního odpadu.

5.3 Porovnání paliv

Parametr	Etanol	n-Butanol	Natural 95
Bod varu [°C]	78,3	83	99
Hustota při 15 °C [kg/m ³]	789,4	810	743
Kinematická viskozita při 20 °C [mm ² /s]	1,52	3,64	0,4-0,8
Výhřevnost [MJ/kg]	26,88	32	43,68
Tlak par dle Reida –RVP [kPa]	19,3	18,6	60-90
Oktanové číslo OČ	106	86	95
Obsah kyslíku [%hm.]	34,7	21,6	<2,7

Tab. 7: Porovnání paliv

6 Nutné úpravy motoru na alkoholová paliva

6.1 Motor

Pro tuto práci byl použit motor Honda GX 31. Je to 4tákní zážehový motor o zdvihovém objemu 31 cm³. Tento motor nahrazuje dříve používané 2tákní motory, které se používaly v ručně nesených strojích. Nahrazení přineslo snížení hmotnosti, menší emise, které splňují nejpřísnější evropské normy, a snížení spotřeby. Aby mohl motor pracovat v libovolné poloze, je vybaven membránovým karburátorem Walbro. Aby nedošlo k zadření motoru, je vybaven rotačním čerpadlem, které umožňuje využití motoru ve všech polohách. Díky jeho vlastnostem je používán v širokém spektru strojů, jako jsou křovinořezy, kultivátory, fukary. Dále je používán jako pohon letadel či motokol.

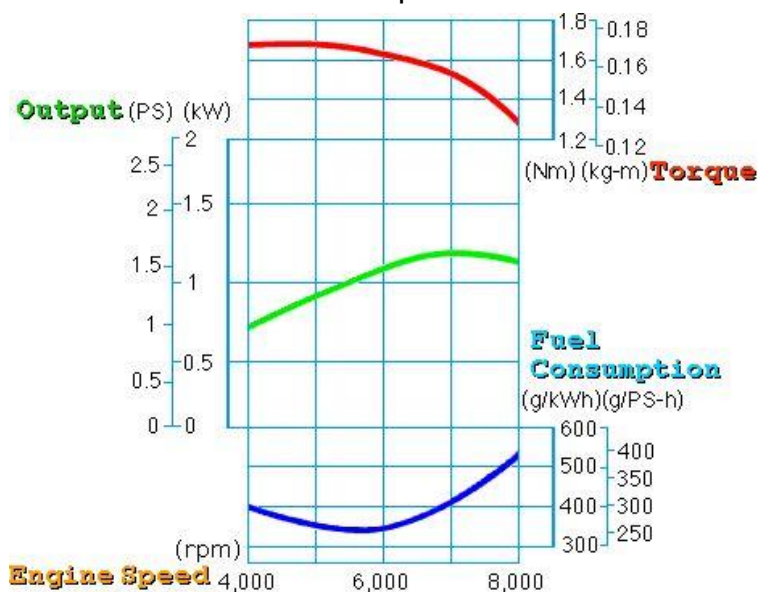


Obr. 7: motor Honda GX31 [12]

Technické specifikace motoru:

Model	GX 31
Typ motoru	4taktní, zážehový jednoválec, vzduchem chlazený, OHV
Zdvihový objem [cm ³]	31
Maximální výkon [KW]/[min ⁻¹]	1.1/7000
Vrtání x Zdvih [mm]	39 x 26
Točivý moment [Nm]/[min ⁻¹]	1.64/4500
Kompresní poměr	8,0
Zapalování	Tranzistorové
Startování	Tahové
Objem nádrže [l]	0.65
Měrná spotřeba paliva [g/kWh]	340
Množství oleje [l]	0.1
Rozměry – d x š x v [mm]	210 x 251 x 250
Materiál válce	hliník
Suchá hmotnost [kg]	3.4

Tab. 8: Technické specifikace motoru



Obr. 8: Charakteristika motoru udávaná výrobcem.[12]

6.2 Úpravy množství paliva

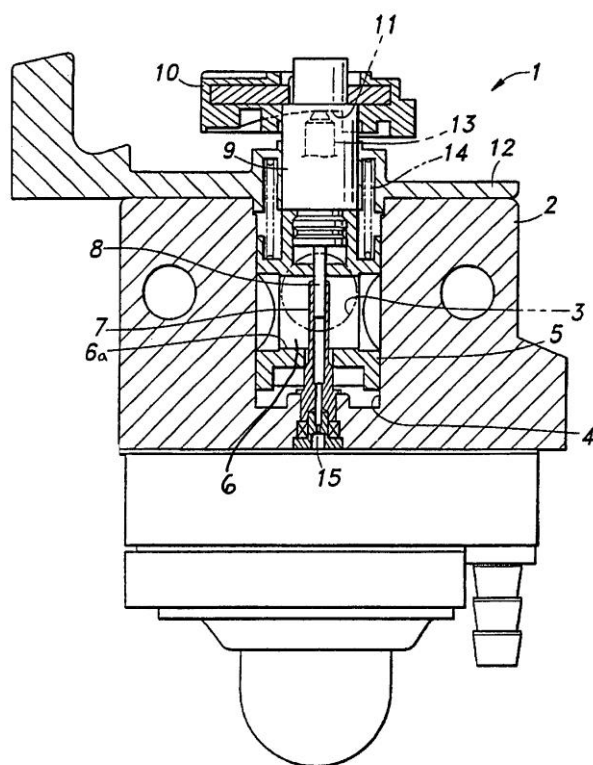
6.2.1 Karburátor

Karburátor je zařízení, které vytváří směs paliva a vzduchu. Jeho funkcí je vytvořit směs, která bude mít co nejvíce konstantní směšovací poměr v celém spektru otáček a zatížení. Jelikož motor Honda je využíván v mnoha úhlech, je osazen membránovým karburátorem.

Princip činnosti karburátoru

Hlavní část karburátoru tvoří tzv. jednoduchý karburátor, který funguje na principu Venturiho trubice. Je to trubice, která je v jednom místě zúžená. Vzduch proudí potrubím a v místě zúžení (difuzoru) se jeho rychlost zvýší, čímž v místě difuzoru vznikne podtlak. V tomto místě je malý otvor, kde se nasává palivo. Velikost průřezu otvoru je dána hlavní tryskou. K dopravě paliva do karburátoru slouží dvě membrány. První zajišťuje čerpání paliva z nádrže tím, že se rozkmitá podtlakem v karteru. Druhá membrána je ovládána podtlakem motoru a sama přes pružinu ovládá šoupátko, které reguluje množství paliva do komory karburátoru. Velikost podtlaku, tedy množství paliva v difuzoru, je závislé na rychlosti proudění vzduchu, a to neúměrně. Podtlak se zvyšuje více než rychlost proudění. Směs se tedy se zvyšující rychlostí proudění stává bohatou. Aby motor měl co nejvíce homogenní směs ve všech režimech, je karburátor vybaven pomocnými zařízeními. Množství vzduchu je řízeno otočnou válcovou škrtkou. Oproti většině karburátorů, kde trysky jsou dvě, má karburátor Walbro WYL-74-1 pouze jednu. Jako pomocné zařízení, které zachovává stejnou bohatost směsi, je použita jehla s kuželovým zakončením, která dosedá do kuželového otvoru. Viz Obr. 9. Válcová klapka a jehla je spojena s axiální vačkou. Díky této vačce jehla axiálním pohybem reguluje průřez trysky, tedy i množství paliva. Jehla karburátoru se pohybuje v palivové trubici, která vyústí do difuzoru. Difuzorem je u tohoto karburátoru otvor ve válcové klapce. Axiální vačku ovládá otočná páka, která je spojena s plynovým lankem. Při režimu volnoběhu je zcela zavřena klapka. Vzduch je nasáván pod ní přes válcovou komoru. Na tento ojedinělý princip má firma Walbro patent. Jelikož studený motor potřebuje na spuštění bohatší směs, je karburátor vybaven pomocnou přívěrou vzduchu. Ta je umístěna před potrubím. Zavřením přívěry se při spouštění vytvoří značný podtlak,

díky kterému proudí palivo ve větším množství, a směs se výrazně obohatí. Při spuštění motoru ovšem nesmí být přívěra uzavřena, kvůli silnému podtlaku by se směs silně obohatila, což by mělo za následek zastavení motoru. Po nastartování motoru je tedy nutné otevřít přívěru. Některé typy karburátorů mají samočinné otevření přívěry, a to díky asymetrickému uložení přes pružný člen. Ten zabrání uzavření přívěry natvrdo a zvýšený podtlak přívěru otevře.



Obr. 9: Karburátor Walbro WYL-74-1 [13]

1. Karburátor
2. Tělo karburátoru
3. Část pro vytvoření směsi
4. Válcová komora
5. Kulový rotační ventil
6. Difuzér
7. Palivová trubice
8. Jehla karburátoru
9. Axiální vačka
10. Otočná páka
11. Vačková plocha
12. Víčko
13. Upevnění vačky
14. Pružina
15. Palivová tryska

6.2.2 Výpočet množství paliva

Důležitým parametrem u spalovacích motorů je součinitel přebytku vzduchu λ , který udává odchylku od stechiometrické směsi.

$$\lambda = \frac{m_{vz}}{m_p \times L_t} \quad (1)$$

Teoretické množství (spotřeba) vzduchu:

$$L_t = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} m_c + 8m_{H_2} + m_S - m_{O_2} \right) \left[\frac{kg_{vzduchu}}{kg_{paliva}} \right] \quad (2)$$

U $\lambda < 1$ tzv. bohaté směsi dochází k nedokonalému spalování směsi což má za následek větší podíl škodlivin ve výfukových plynech. Zejména CO. Dalším důvodem proč se nevolí tato směs je že se nevyužije energetický potenciál paliva.

Při $\lambda = 1$ jde o stechiometrickou směs. S tímto režimem pracuje převážná většina zážehových motorů. Tento parametr je třeba zachovat i pro palivo, s nímž se bude pracovat.

U $\lambda > 1$ tzv. chudé směsi lze dosáhnout při malém ochuzení téměř ideálního spalování. V tomto případě dochází k nebezpečí a to k oxidaci vzdušného kyslíku za vzniku jedovatých oxidů dusíku.

6.2.2.1 Benzín

Obvyklé hmotnostní podíly benzínu se pohybují v rozmezích 85-85,5 % C a 14,5-15 % H, takže teoretická spotřeba vzduchu bude:

$$L_{tBe} = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} 85.5 + 8 \times 14.5 + 0 - 0 \right) = 14.8 \frac{\text{kg}_{\text{vzduchu}}}{\text{kg}_{\text{paliva}}}$$

Jelikož chceme spalovat stechiometrickou směs tak se do vzorce (2) dosadí za $\lambda = 1$, takže:

$$1 = \frac{m_{vz}}{m_p \times 14.8} \rightarrow \frac{m_{vz}}{m_p} = 14.8$$

Z této rovnice plyne, že pro stechiometrickou směs je třeba na 1 kg benzínu 14,8 kg vzduchu.

6.2.2.2 Etanol:

Etanol se skládá z 52 % C, 13% H a 35 % O, takže:

$$L_{tE} = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} 52 + 8 \times 13 + 0 - 35 \right) = 8.95 \frac{\text{kg}_{\text{vzduchu}}}{\text{kg}_{\text{paliva}}}$$

$$\frac{m_{vz}}{m_p} = 8.95$$

Což znamená, že na 1 kg etanolu připadá 8.95 kg vzduchu.

6.2.2.3 E85:

E85 se skládá z 15 % benzínu a 85 % etanolu, takže:

$$L_t = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} (52 \times 0.85 + 85.5 \times 0.15) + 8(13 \times 0.85 + 14.5 \times 0.15) + 0 - 35 \times 0.85 \right)$$

$$L_{tE85} = 9.833 \frac{kg_{vzduchu}}{kg_{paliva}}$$

$$\frac{m_{vz}}{m_p} = 9.833$$

6.2.2.4 Butanol

Butanol obsahuje 64,8 % C, 13,6 % H a 21,6 % O.

$$L_{tbu} = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} 64.8 + 8 \times 13.6 + 0 - 21.6 \right) = 11.21 \frac{kg_{vzduchu}}{kg_{paliva}}$$

$$\frac{m_{vz}}{m_p} = 11.21$$

Z čehož plyne, že na 11.21 kg vzduchu potřebujeme 1 kg butanolu.

6.2.2.5 Porovnání paliv:

$$\rho_{Be} = 740 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_E = 789 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{Bu} = 814 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{E85} = 784 \text{ kg/m}^3$$

Platí že:

$$\frac{m_{vz}}{m_p} = L_t \rightarrow m_{vz} = L_t \times V_p \times \rho_p \quad (3)$$

$$L_{tBe} \times V_{Be} \times \rho_{Be} = L_{tE85} \times V_{E85} \times \rho_{E85} \quad (4)$$

$$\frac{V_{E85}}{V_{Be}} = \frac{L_{tBe} \times \rho_{Be}}{L_{tE85} \times \rho_{E85}} = \frac{14.8 \times 750}{9.833 \times 784} = 1.439$$

$$\frac{V_E}{V_{Be}} = \frac{L_{tBe} \times \rho_{Be}}{L_{tE} \times \rho_E} = \frac{14.8 \times 750}{8.95 \times 789} = 1.571$$

$$\frac{V_{Bu}}{V_{Be}} = \frac{L_{tBe} \times \rho_{Be}}{L_{tBu} \times \rho_{Bu}} = \frac{14.8 \times 750}{11.21 \times 814} = 1.216$$

Z těchto rovnic plyne, že při užití etanolu je pro zajištění stejné bohatosti směsi potřeba dodat o 57 % obj. více paliva, respektive o 44 % pro E85 a o 22 % pro butanol. Pro udržení stejné bohatosti směsi je tedy pro alkoholová paliva třeba obohatit směs. Díky tomu, že karburátor Walbro má pouze jednu trysku, která svým průřezem udává množství paliva, je nejschůdnějším řešením k dosažení obohacení směsi tento průřez zvětšit.

6.2.3 Výpočet průměrů trysek

Původní průměr trysky $D_{Be}=0.42$ mm

Pro E85 je žádaný objemový nárůst 43.9 % oproti benzínu, takže:

$$\frac{S_{E85}}{S_{Be}} = 1.439 \rightarrow \frac{D_{E85}^2}{D_{Be}^2} = 1.439 \rightarrow D_{E85} = \sqrt{1.439} \times D_{Be} \quad (5)$$

$$D_{E85} = 0.504 \text{ mm}$$

Pro čistý etanol 57 % takže:

$$D_E = \sqrt{1.57} \times D_{Be} = 0.526 \text{ mm}$$

Pro butanol 22 % :

$$D_{Bu} = \sqrt{1.22} \times D_{Be} = 0.464 \text{ mm}$$

Jelikož měření bude probíhat s různými palivy, byla zhotovena řada trysek s odstupňovanými průměry, a to: 0.44; 0.46; 0.48; 0.5 a 0.52 mm. Pro každé palivo se karburátor osadí touto řadou trysek a experimentálně se ověří, zda výpočty odpovídají skutečnosti.

6.3 Kompatibilita paliv s materiály

Jelikož převážná většina strojů, která má zážehový motor je konstruována na benzín, musí materiály, které se dostanou do styku s benzínem, odolávat jeho vlivům. Alkoholová paliva mají rozdílné chemické a fyzikální vlastnosti, a tak je třeba vyšetřit kompatibilitu těchto materiálů.

6.3.1 Palivová nádrž

Palivová nádrž je část, ve které se téměř stále nachází palivo. Je vyrobena z HDPE. Z tohoto materiálu jsou běžně vyrobeny kanystry či nádrže pro široké spektrum ropných produktů. Podle [14] má tento materiál dobrou odolnost proti etanolu a butanolu.

6.3.2 Palivové vedení

Palivové vedení je tvořeno hadicemi z transparentního měkčeného PVC. Jako změkčovadla se používají ftaláty, které alkoholy postupně rozpouštějí a vyplachují. Hadice postupem času tedy ztvrdne a zkřehne. Kvůli vibračním motoru by tedy mohlo dojít k prasknutí hadice. Jako řešení se nabízí výměna hadic za hadice z jiného materiálu, například ze silikonové či nitrilové pryže nebo teflonu. [15] Proti benzínu je měkčené PVC dobře odolné.

6.3.3 Části karburátoru

Jelikož motor, který je upravován, má membránový karburátor, je třeba vyšetřit jeho části, tedy jeho membrány, těsnění, podložku sání, tělo karburátoru a trysku. Zbylé části jsou vyrobené ze stejného materiálu, ze kterého jsou vyrobeny uvedené díly.

Membrány karburátoru jsou vyrobeny z kombinace tří materiálů - PET, nitrilové pryže a skelného vlákna. PET je sám o sobě dobře odolný proti butanolu, etanolu a má podmíněnou odolnost proti benzínu. Nitrilová pryž má dobrou odolnost proti všem palivům. Skelná vlákna mají podmíněnou odolnost proti alkoholům a dobrou odolnost proti benzínu. Podložka sání karburátoru je vyrobena z polyuretanu, který má dobrou odolnost proti všem palivům. Podobně dobrou odolnost proti všem palivům má také tělo karburátoru, které je vyrobeno z hliníku. Tryska je vyrobena z mosazi, která je dobře odolná proti benzínu a butanolu a proti etanolu je podmíněně odolná. Těsnění je z těsnícího papíru, který je dobře odolný jak benzínu, tak alkoholům.

6.3.4 Části motoru

Hlava, válec a píst jsou ze slitiny hliníku, který je dobře odolný proti všem palivům. Pístní kroužky a ventily jsou vyrobeny z oceli, která má ve styku s palivy též dobré vlastnosti.

Označení „dobře odolné“ znamená, že palivo ve styku s materiálem může být stále ve styku.

„Podmíněně odolné“ znamená, že palivo může být ve styku s materiálem jenom po omezenou dobu a tato doba má vliv na životnost materiálu.

6.3.5 Experiment

Pro ověření kompatibility materiálů karburátoru byl proveden experiment s jeho dvěma díly. Prvním dílem byla membrána a druhým balónek pumpy na palivo. Balónek pumpy je vyroben z PU a membrána z kombinace tří materiálů - PET, nitrilové pryže a skelného vlákna. Tyto dva díly jsou nejvíce namáhány a musí si udržet svoje vlastnosti, zejména však svoji elasticitu. Experiment proběhl tak, že každý díl byl rozdělen na čtyři části. První část byla ponořena do benzínu, druhá do E85, třetí do butanolu a poslední zůstala pro porovnání. Tyto části byly poté vloženy do ultrazvukové vany. Doba, po kterou byly části ve vaně, trvala 39 hodin a mimo ní 16 dnů. Po této době byly díly sledovány pod mikroskopem a porovnány. Zkoumané materiály ze subjektivního pohledu neprojevily změnu struktury, ani změnu mechanických vlastností. Jedinou viditelnou změnou bylo zhnědnutí původně transparentní barvy u balónku pumpy. Tato změna nastala s materiálem, který byl ponořen do benzínu.



Obr. 10: Části membrány ponořených do jednotlivých paliv. (Zleva: benzín, E85, butanol)

7 Experimentální měření

K měření je použito zkušebního stavu, který je popsán v práci [16]. Zkušební stav se skládá z motoru, odstředivé spojky, řemenového převodu, hřídelové spojky a výkonové brzdy. Řemenový převod je použit kvůli snížení otáček vstupního hřídele snímače točivého momentu a výkonové brzdy. K brzdění motoru je použit hydraulický okruh, který se skládá ze zubového čerpadla, proporcionálního rozvaděče, chladiče a nádrže. Stav je dále osazen snímači teploty výfukových plynů, snímačem otáček a točivého momentu. Díky závislosti mezi točivým momentem a otáčkám lze stanovit výkon motoru. Zubové čerpadlo, zastávající funkci motorové brzdy, čerpá hydraulický olej z nádrže přes proporcionální rozvaděč a přes chladič zpět do nádrže. Velikost toku oleje je závislá na otáčkách. Díky proporcionálnímu rozvaděči, který je propojen s PLC škrtíme tok, a tím vytváříme tlakový spád na zubovém čerpadle a současně i brzdny moment motoru.

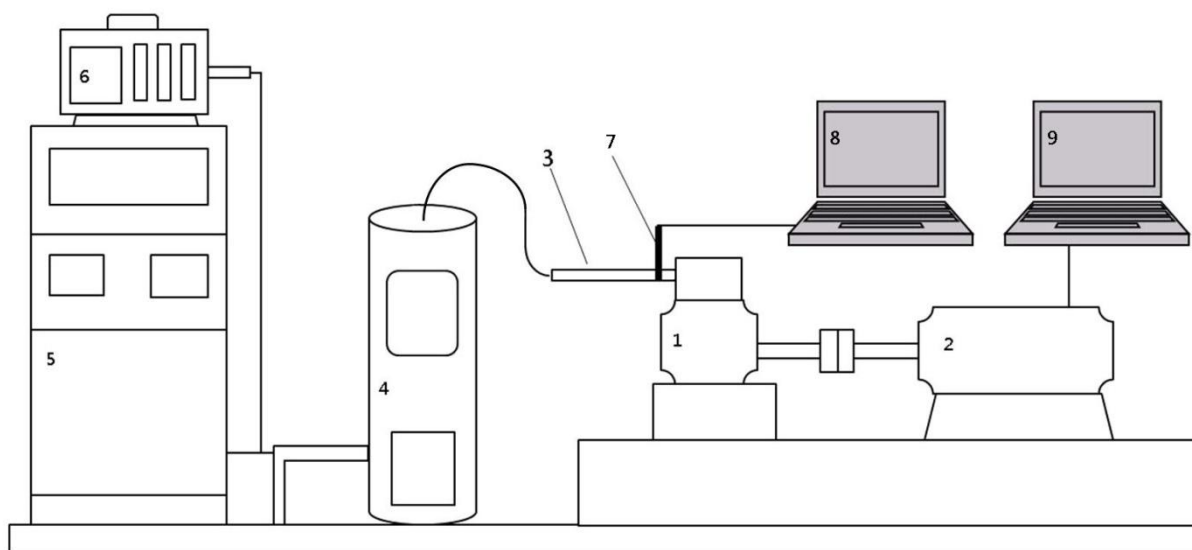
7.1 Princip měření

PLC, který ovládá proporcionální rozvaděč, je propojen s počítačem. Počítač je vybaven řídicím programem. V programu se nastaví požadované otáčky pomocí ručního ovladače škrtící klapky. Motoru je kladen pouze pasivní odpor, proporcionální rozvaděč neškrtí tok oleje. Začneme otvírat škrtící klapku, motor začne zvyšovat otáčky. Na to reaguje proporcionální rozvaděč díky snímači otáček. Rozvaděč začne škrtit tok oleje, aby ustálil otáčky na konstantní úrovni. Po ustálení stavu se do souboru uloží hodnoty daných otáček, poloha škrtící klapky a točivý moment. Takto nastavujeme polohu škrtící klapky v celém rozsahu.

Tímto způsobem lze provozovat motor v celém spektru jeho otáček. Z uložených hodnot je možné vytvořit grafy závislostí točivého momentu, případně výkonu na otáčkách při dané poloze škrtící klapky. Dalším možným způsobem, který byl použit v této práci, je nastavení požadovaného kroutícího momentu konstantním škrcením proporcionálního rozvaděče a poté nastavení požadované otáčky ručním ovladačem škrtící klapky. Z hodnot lze opět odečíst požadované hodnoty.

7.2 Vlastní měření

Měření probíhalo se třemi různými palivy, a to s butanolem, E85 a benzínem. Veškeré výfukové plyny byly odsávány a ředěny. Vzorek zředěných spalín byl odebírán na analýzu ke dvěma analyzátorům. Jako analyzátory byly použity mobilní analyzátor a analyzátor Emerson. Naměřené koncentrace CO_2 odpovídají příspěvku od výfukových plynů, koncentrace v atmosféře byly odečteny. Motor byl dále osazen čidlem na teplotu výfukových plynů. Viz schéma.



- | | | |
|---------------|------------------------|-------------------------|
| 1. motor | 4. ředící tunel | 7. čidlo teploty |
| 2. dynamometr | 5. analyzátor | 8. počítač |
| 3. výfuk | 6. přenosný analyzátor | 9. ovládání dynamometru |

Obr. 11: Schéma uspořádání měření

7.2.1 Režimy pro měření

Protože zkušební stav neumožňoval měření podle Evropských směrnic, pro měření byly zvoleny tři režimy, a to režim s minimálním zatížením, 50% zatížením a 100% zatížením. Všechny režimy probíhaly za stejných otáček a to 6000 min^{-1} . Pro každý režim byla použita vyrobená řada trysek. Určení maximálního zatížení bylo získáno při spalování benzínu. Z něho bylo určeno 50 % zatížení. Každý cyklus trval 5 minut, aby se motor stabilizoval. Minimální zatížení bylo při plně otevřeném proporcionálním rozvaděči. Označení „minimální“ znamená, že motor měl

určité zatížení, a to díky pasivním odporům, které vyvolaly samotné zubové čerpadlo, řemenový převod, ložiska apod. Jeho hodnota se pohybovala okolo 0,4 Nm. Výkon motoru, pro minimální zatížení se určil právě z těchto hodnot.

7.3 Výpočet emisí

Příklad výpočtu pochází ze spalování benzínu při 100% zatížení a trysce o průměru 0,42 mm, pro emise CO.

Objemový tok CO:

$$\dot{V}_{CO} = \dot{V}_C \times C_{CO} = 0,00175 \times 60 = 0,105 \frac{m^3}{h} \quad (6)$$

Hmotnostní tok CO:

$$\dot{m}_{CO} = \rho_{CO} \times \dot{V}_{CO} = 1164 \times 0,105 = 122,22 \frac{g}{h} \quad (7)$$

Hustota CO:

$$\rho_{CO} = \frac{p}{\frac{R}{M_{CO}} \times T} = \frac{101325}{\frac{8314}{28} \times 293,15} = 1,164 \frac{kg}{m^3} = 1164 \frac{g}{m^3} \quad (8)$$

Výkon:

$$P = 2 \times \pi \times n \times M_k = 2 \times \pi \times \frac{5985}{60} \times 1,78 = 1115,61 W = 1,115 kW \quad (9)$$

Specifické emise CO:

$$CO = \frac{\dot{m}_{CO}}{P} = \frac{122,22}{1,115} = 109,32 \frac{g}{kWh} \quad (10)$$

Hustota byla vypočtena pro tlak 101325 pa a pro teplotu 20 °C.

Celkový objemový tok po zředění byl $60 m^3 h^{-1}$.

Další hodnoty specifických emisí jsou znázorněny v grafech.

7.4 Výpočet specifické spotřeby

Specifická spotřeba se vypočítá z naměřených emisí oxidů uhlíku.

Celkový hmotnostní tok uhlíku v plynech:

$$\dot{m}_C = \dot{m}_{CO_2} + \dot{m}_{CO} = 205,46 + 52,38 = 257,84 \frac{g}{h} \quad (11)$$

Hmotnostní tok uhlíku obsaženého v CO₂:

$$\dot{m}_{CO_2} = \dot{m}_{CO_2} \times \frac{M_c}{M_{CO_2}} = 753,36 \times \frac{12}{44} = 205,46 \frac{g}{h} \quad (12)$$

Hmotnostní tok uhlíku obsaženého v CO:

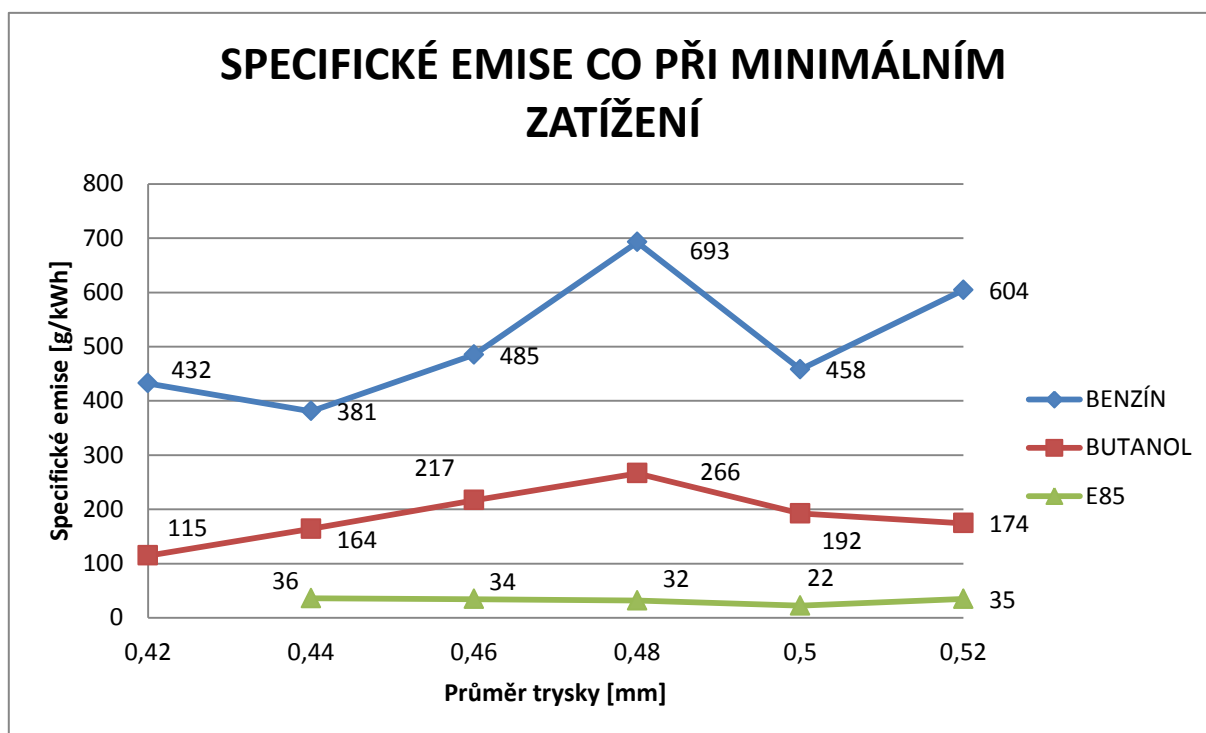
$$\dot{m}_{CO} = \dot{m}_{CO} \times \frac{M_c}{M_{CO}} = 122,22 \times \frac{12}{28} = 52,38 \frac{g}{h} \quad (13)$$

Specifická spotřeba:

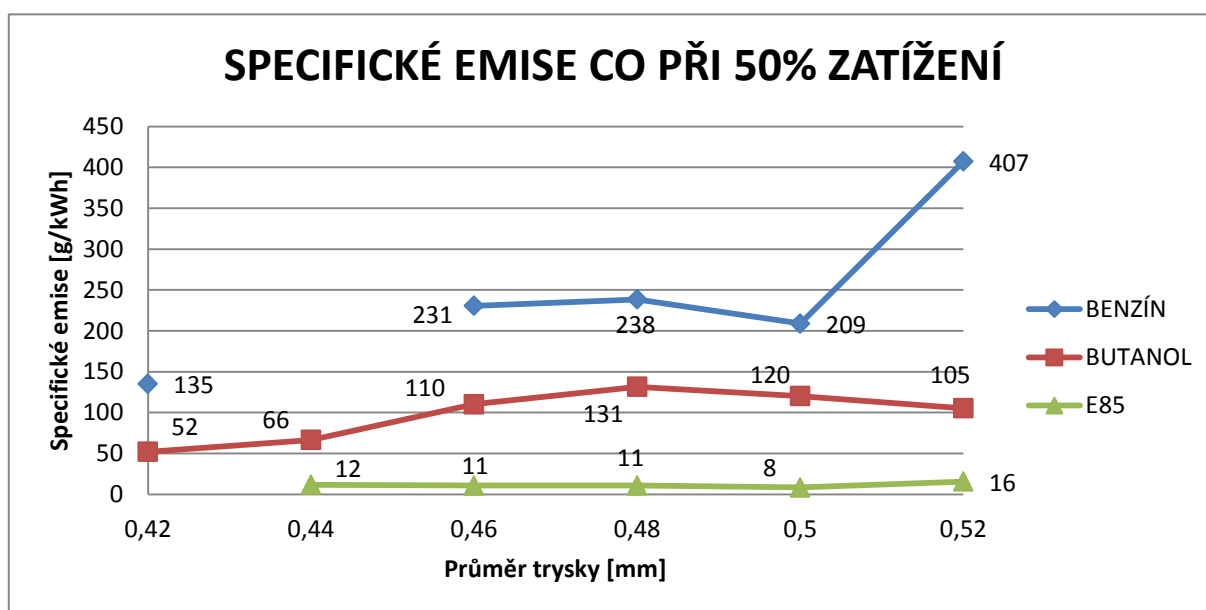
$$SFC = \frac{\dot{m}_c}{P \times m_c} = \frac{257,84}{1,115 \times 0,855} = 270,46 \frac{g}{kW \cdot h} \quad (14)$$

7.5 Specifické emise

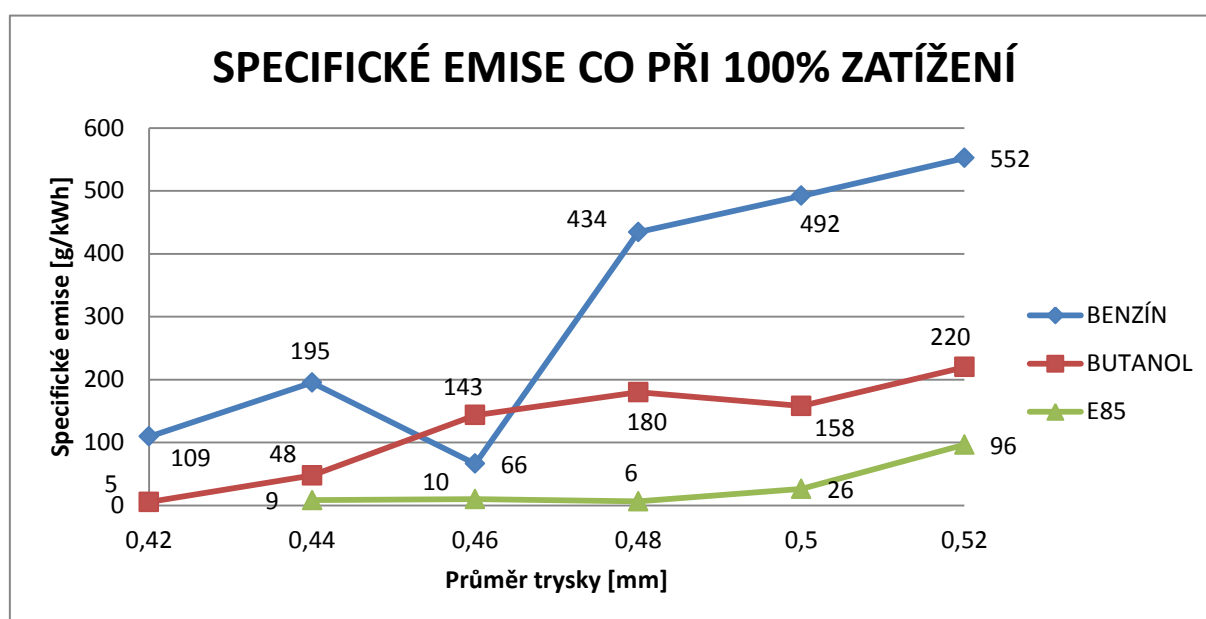
Specifické emise jsou vztaženy na daná paliva a pro jednotlivé trysky. Emise etanolu na trysku o průměru 0,42 mm nebylo možné změřit, protože motor nebyl schopen chodu na tuto trysku. Při spalování benzínu s motorem osazeným tryskou o průměru 0,44 mm nemohl být díky poruše snímače točivého momentu změřen režim pro 50% zatížení.



Obr. 12: Graf specifických emisí CO při minimálním zatížení



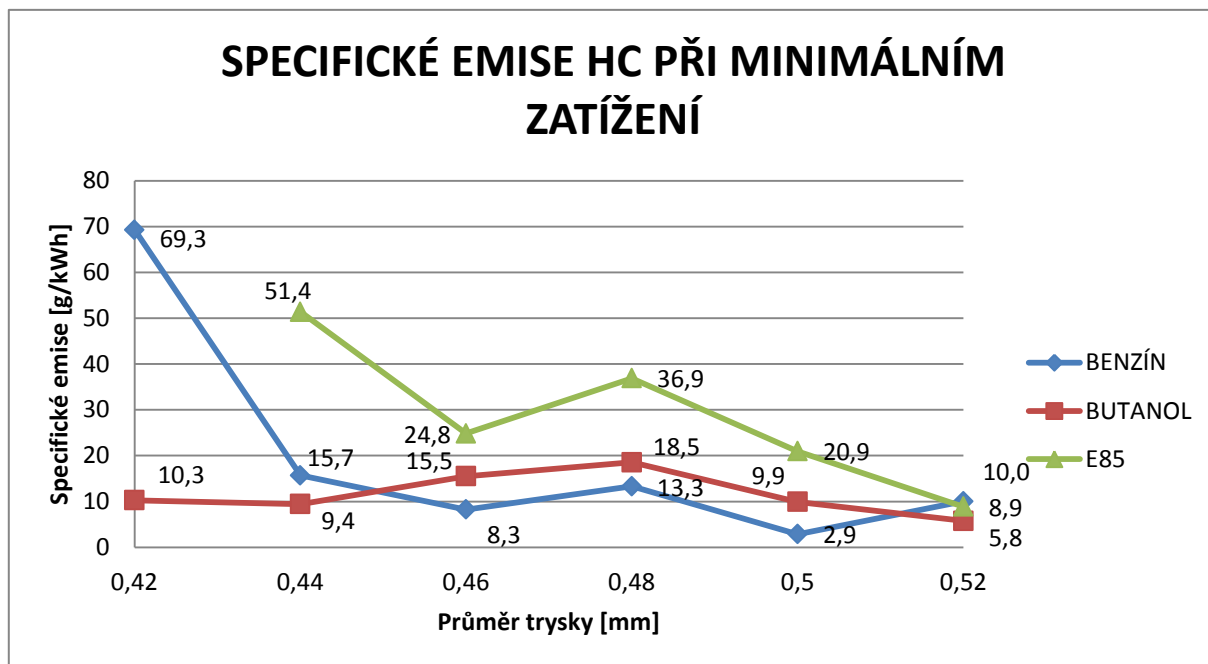
Obr. 13: Graf specifických emisí CO při 50% zatížení



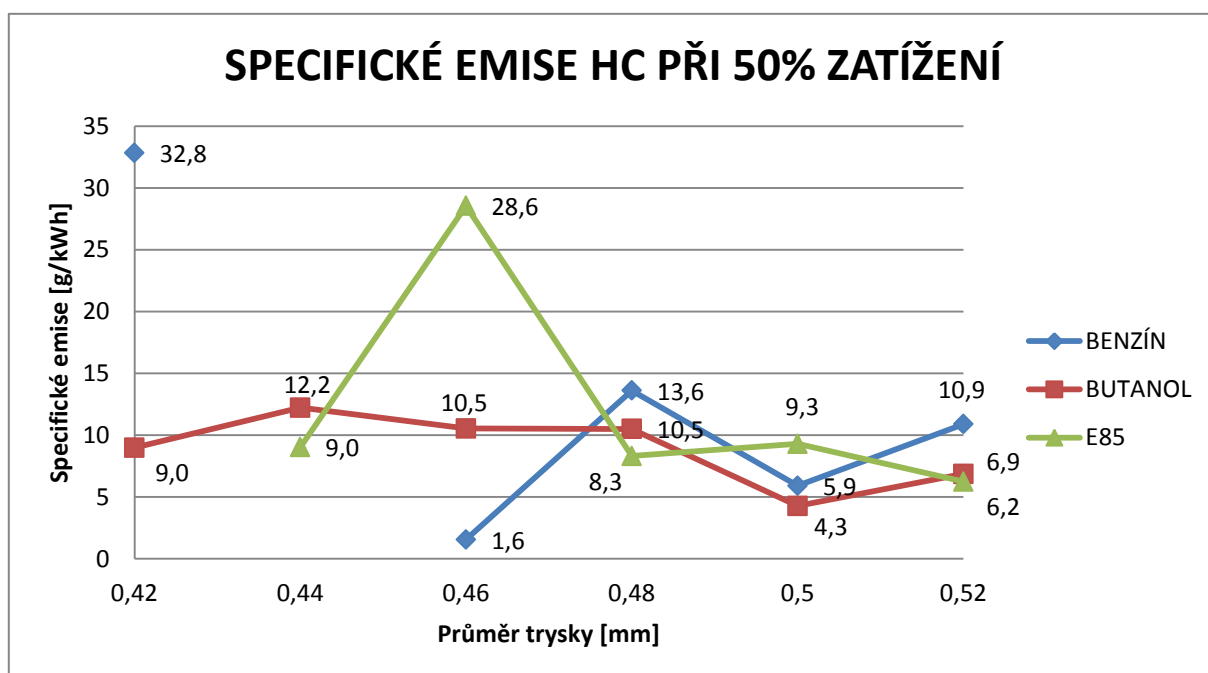
Obr. 14: Graf specifických emisí CO při 100% zatížení

Jak je vidět z grafů, nejnižších emisí motor dosáhl, když bylo použito palivo E85. Rozdíly emisí mezi E85 a benzínem byly v některých režimech markantní, a to až o 95 %. Tento rozdíl byl dán přílišným obohacením směsi při spalování benzínu. Při spalování butanolu se hodnoty emisí CO pohybovaly převážně mezi hodnotami ostatních paliv. Pro trysky, které byly vypočteny pro jednotlivá paliva, tedy 0,42 mm pro benzín, 0,50 mm pro E85 a 0,46 mm pro butanol, byly nejmenší emise při

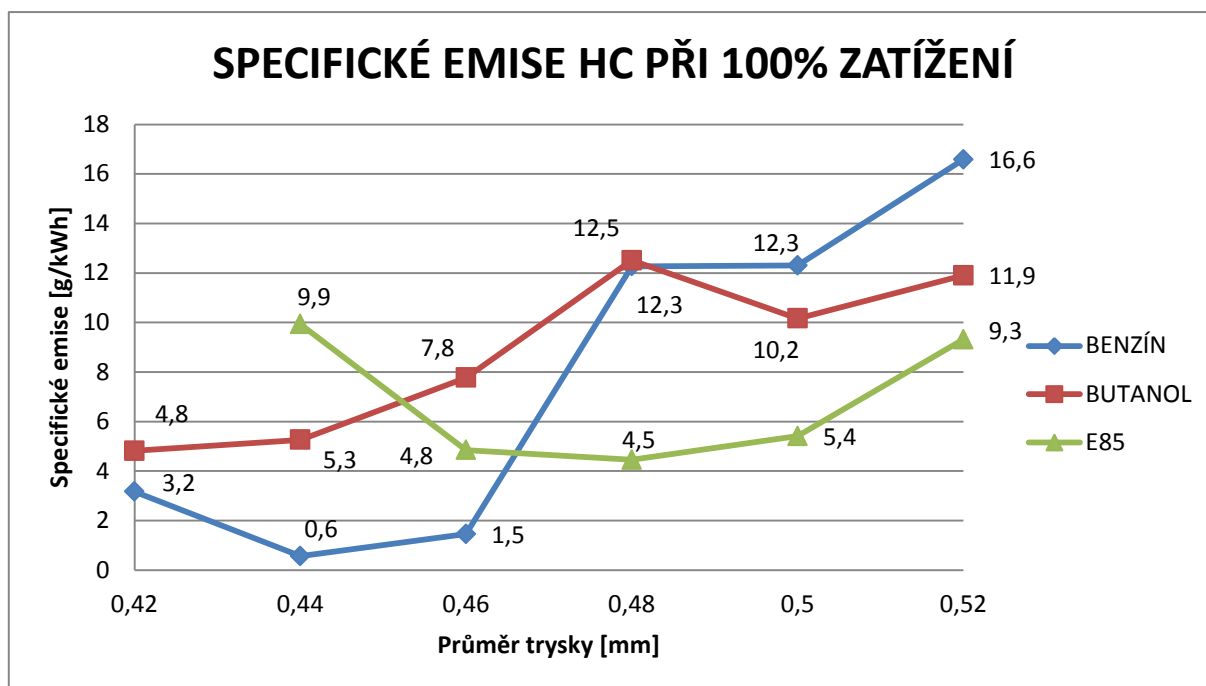
palivu E85. Podle předpokladů s rostoucím průměrem trysky, tedy s postupným obohacováním směsi, mají emise CO tendenci růst. Důvodem je nedokonalá oxidace prvků obsažených v palivu, tedy uhlíku a vodíku. Nejvyšších specifických emisí CO bylo dosahováno při minimálním zatížení, což je určeno nízkým výkonem motoru při daném režimu.



Obr. 15: Graf specifických emisí HC při minimálním zatížení

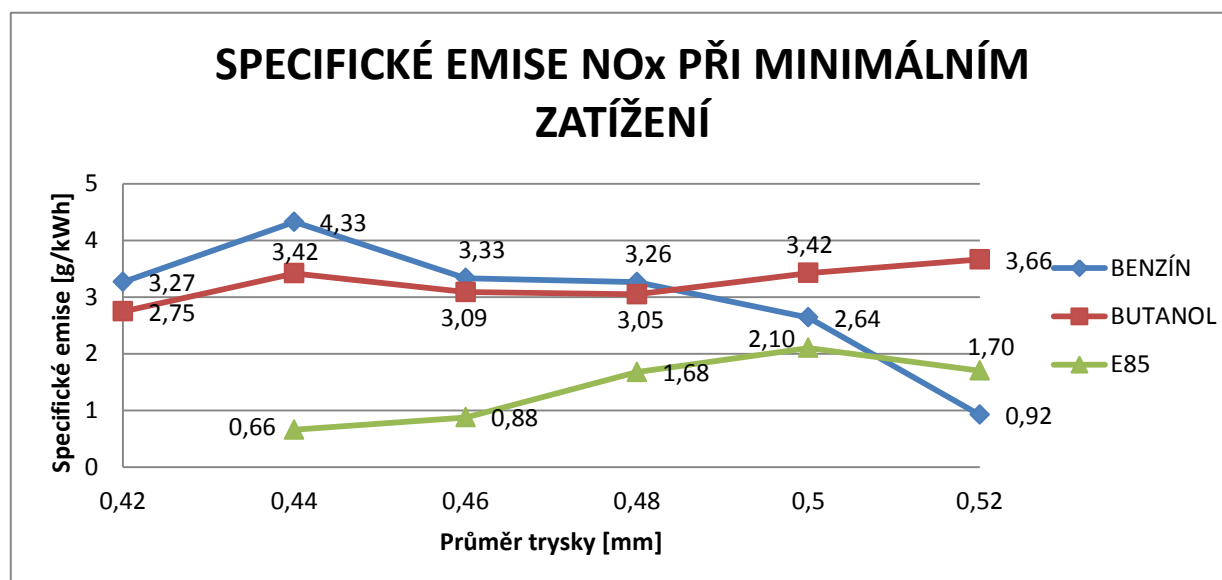


Obr. 16: Graf specifických emisí HC při 50% zatížení

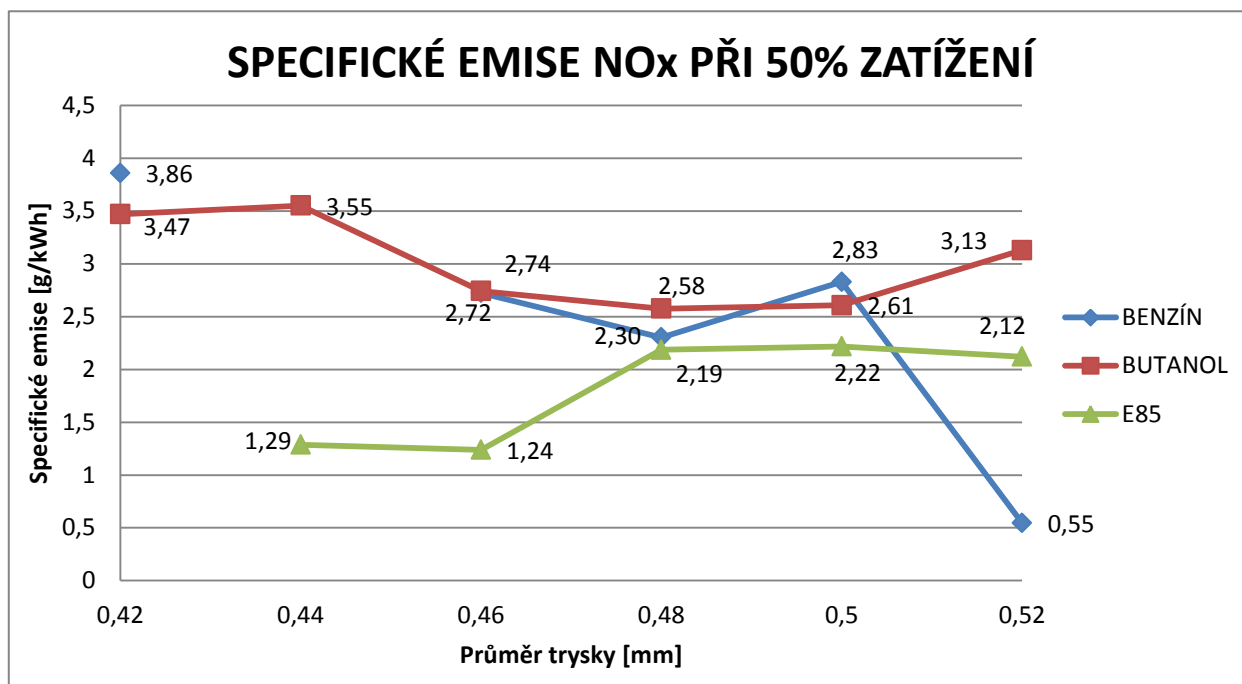


Obr. 17: Graf specifických emisí HC při 100% zatížení

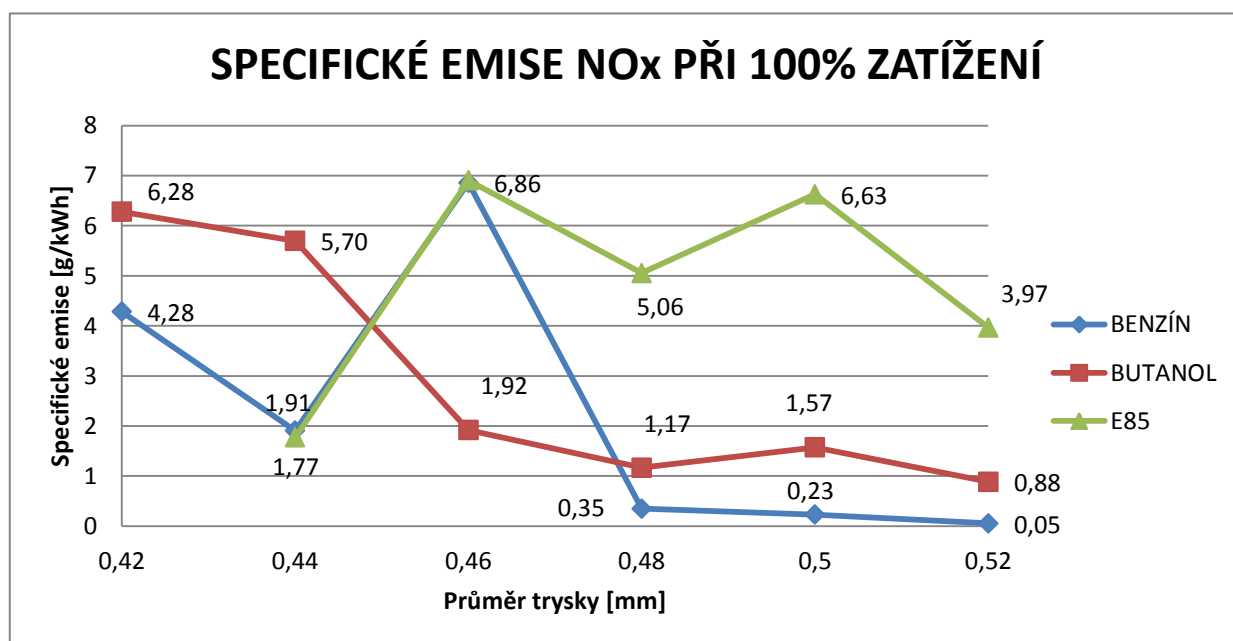
Při minimálním a 50% zatížení měly emise HC tendenci klesat s průměrem trysky. Ve zbylém režimu mají tendenci stoupat. U emisí uhlovodíků, které jsou rovněž produktem nedokonalého průběhu oxidace, by měly platit analogické úvahy jako u CO. Důvodem vysokých emisí při malém průměru trysky by mohlo být spalování extrémně chudé směsi, kde hodnoty emisí jsou srovnatelné s emisemi u bohaté směsi. Nejvyšší podíly HC při tryskách pro daná paliva byly při minimálním a 50% zatížení u benzínu a při 100% u etanolu.



Obr. 18: Graf specifických emisí NO_x při minimálním zatížení



Obr. 19: Graf specifických emisí NO_x při 50% zatížení



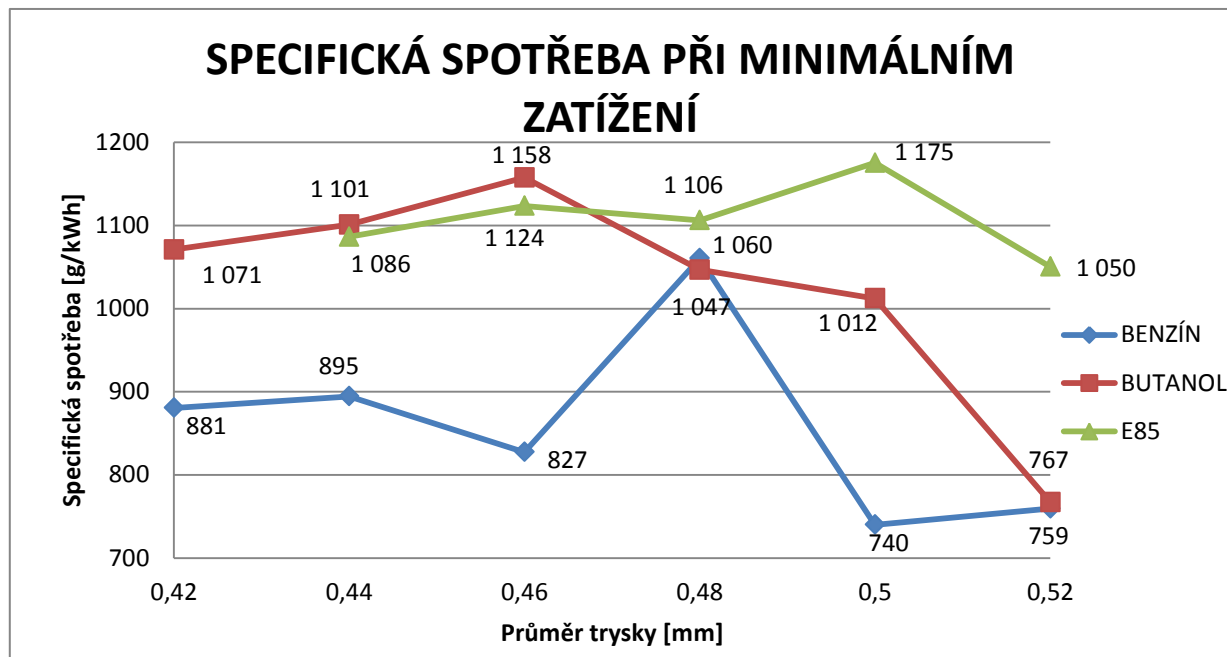
Obr. 20: Graf specifických emisí NO_x při 100% zatížení

Emise NO_x jsou závislé na teplotě při spalování. Při porovnání grafu průměrných teplot a specifických emisí NO_x je tato závislost patrná. Při minimálním a 50% zatížení dosáhl nejvyšších emisí benzín a nejnižších E85. Při 100% zatížení nejnižších hodnot dosáhl butanol, nejvyšších pak benzín.

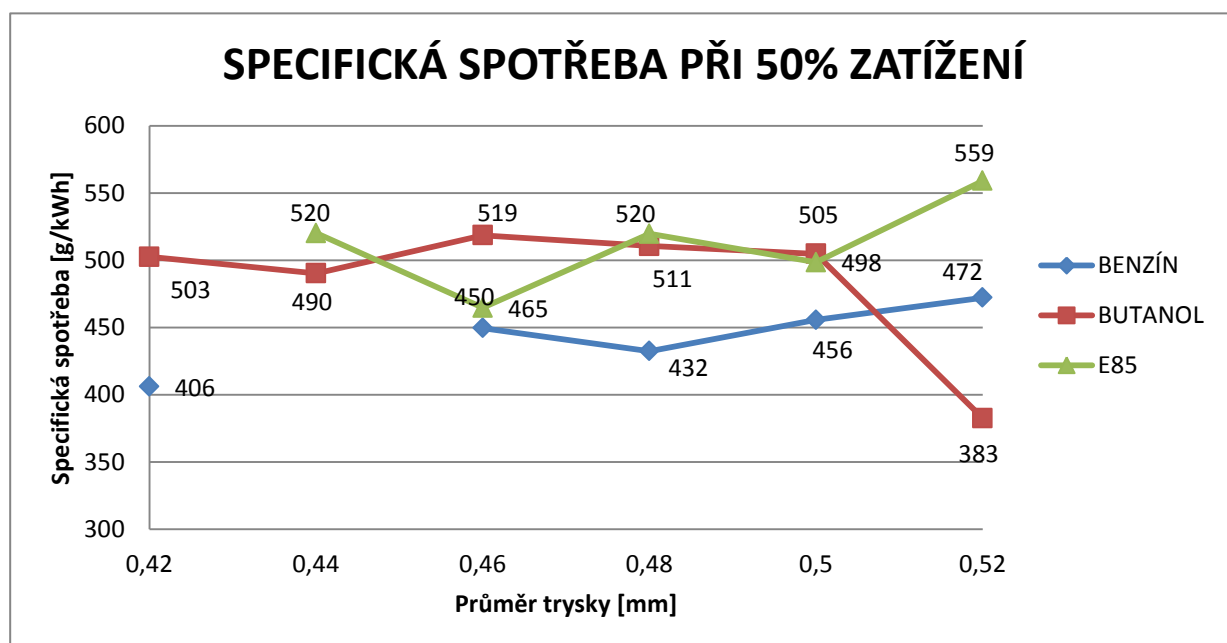
V celkovém součtu emisí lze říct, že alkoholová paliva mají nižší emise při dodržení stanovené bohatosti směsi než benzín. Emise CO₂ zde nejsou uvedeny, protože v současné době nejsou pro tuto složku emisí dané limity.

7.6 Specifická spotřeba

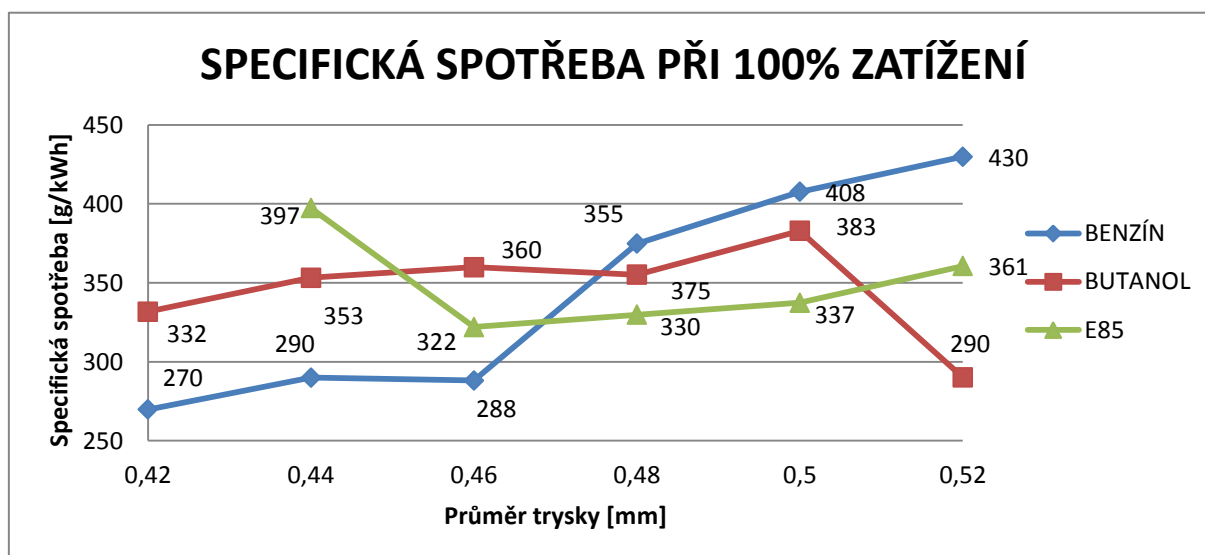
V následujících grafech je znázorněna závislost velikosti specifické spotřeby paliva na průměr trysky v jednotlivých režimech.



Obr. 21: Graf specifické spotřeby při minimálním zatížení



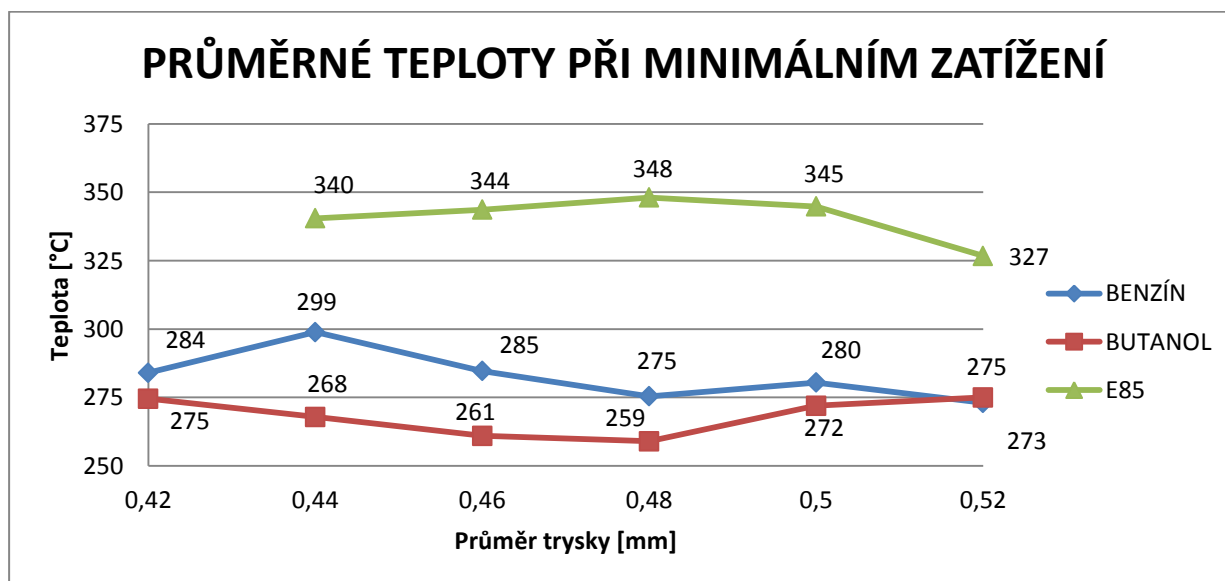
Obr. 22: Graf specifické spotřeby při 50% zatížení



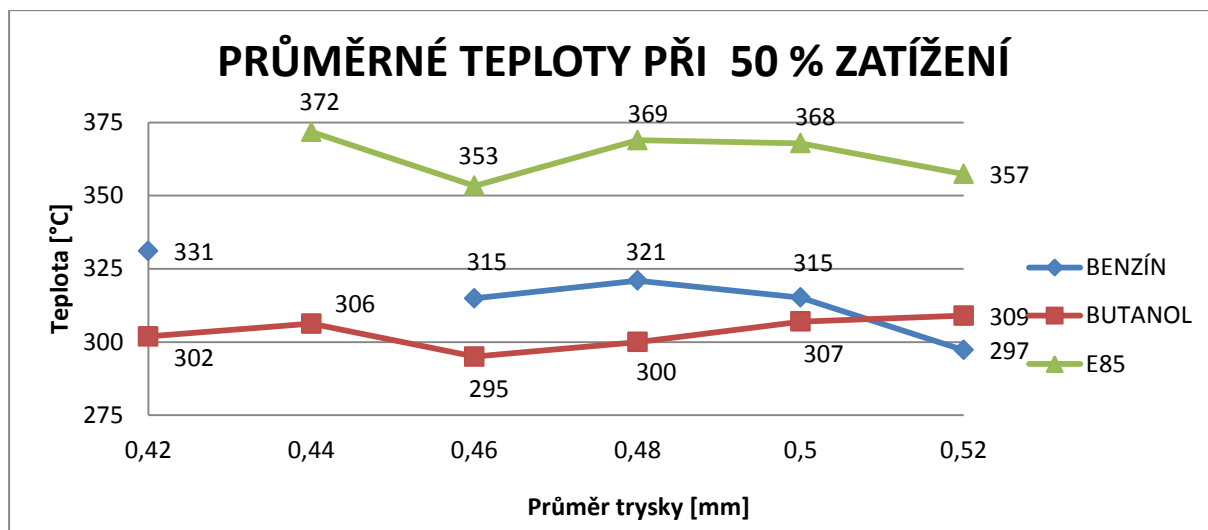
Obr. 23: Graf specifické spotřeby při 100% zatížení

Dle očekávání specifická spotřeba byla nejnižší u benzínu, je to dáno průměrem trysky, která udává množství paliva. Nejvyšší specifické spotřeby motor dosahoval při minimálním zatížení, jelikož měl nízké zatížení a tím i nízký výkon. Měrná spotřeba paliva udávaná výrobcem je 340 g/kWh, k této hodnotě výrobce neudává, při jakém výkonu byla dosažena. Rozdíl těchto hodnot může být dále způsoben rozdílným opotřebením motoru. Nárůst specifické spotřeby alkoholových paliv vzrostlo oproti benzínu průměrně u obou paliv o 27 % při použití trysek navržených pro dané palivo.

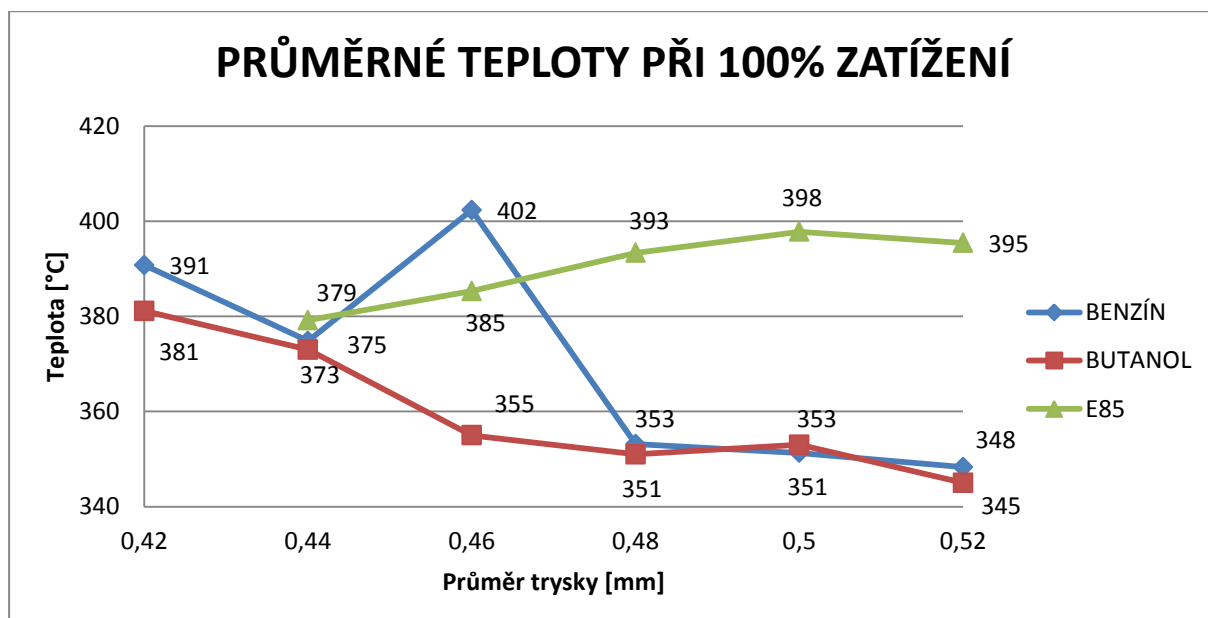
7.7 Průměrné teploty výfukových plynů



Obr. 24: Graf průměrných teplot při minimálním zatížení



Obr. 25: Graf průměrných teplot při 50% zatížení



Obr. 26: Graf průměrných teplot při 100% zatížení

Nejvyšších průměrných teplot výfukových plynů motor dosahoval při použití paliva E85. Důvodem je, že díky vyššímu oktanovému číslu má E85 tendenci se spalovat pomaleji, a tím roste teplota výfukových plynů. Naopak nejnižších teplot dosáhl motor při splavání butanolu. U benzínu byla nejvyšší teplota 409 °C naměřena u trysky o průměru 0,46 mm a 100% zatížení. Vůbec nejvyšší teploty výfukových plynů motor dosáhnul při spalování etanolu, a to 419 °C při 100% zatížení a trysce o průměru 0,52 mm. Při spalování butanolu dosáhl motor maximální hodnoty teploty výfukových plynů 389 °C s tryskou 0,42 mm a při 100% zatížení.

7.7.1 Spalování benzínu

Při spalování benzínu motor fungoval bez problému na všechny průměry trysek. Nejvyššího točivého momentu 1,78 Nm motor dosáhl s originální tryskou.

7.7.2 Spalování E85

Při spalování E85 byla nejprve zvolena tryska, o největším průměru, tedy 0,52. Startování proběhlo za studena, při teplotě 20 °C. Motor nastartoval bez problému na třetí zatáhnutí startéru. Motor držel bez problému volnoběžné otáčky. Po ohřátí byly započaty jednotlivé režimy. Motor oproti benzínu vykazoval drobnou oscilaci otáček. S postupným zmenšováním průměrů trysek, a to od průměru 0,48 mm se zhoršovalo chování motoru, oscilace otáček se zvětšovala. Startování probíhalo bez problému na všechny trysky. Při osazení nejmenší trysky, tedy původní nebyl motor schopen provozu. Na motoru tedy nebyli možné cykly změřit. Při zvyšování otáček se dusil a časem se zastavil. Nejvyššího točivého momentu 1,82 Nm bylo naměřeno při trysce o průměru 0,52 mm. Ze subjektivního pohledu nejplynulejšího chodu motor dosahoval právě při největší trysce.

7.7.3 Spalování butanolu

U spalování butanolu byla nejprve použita originální tryska a průměr trysky se postupně zvyšoval. Studené nastartování motoru při 22 °C se podařilo na druhé zatáhnutí startéru. Motor vykazoval kolísání otáček avšak oproti E85 motor byl schopen fungovat. Se zvětšujícím se průměrem trysky se zlepšovalo chování motoru až do trysky 0,48 mm. Při této trysce podle subjektivního názoru měl motor nejplynulejší chod. Chod motoru byl lepší než u jakékoliv trysky na E85. Při požití trysek 0,42 a 0,44 mm motor nedokázal držet volnoběžné otáčky. Nejvyššího točivého momentu 1.84 Nm motor dosáhl při trysce o průměru 0,46 mm.

8 ZÁVĚR

Předmětem bakalářské práce byla teoretická a praktická úprava malého zážehového motoru pro provoz na butanol a E85. Na základě výpočtu výhřevnosti paliva byly vypočteny průměry trysek na daná alkoholová paliva. Ověření výpočtů bylo provedeno experimentálně, a to s vyrobenou sadou trysek. Pozornost měření byla soustředěna na emise motoru při spalování jednotlivých paliv. Při experimentálním měření byly porovnávány emise při spalování konvenčního paliva (Natural 95) a alkoholových paliv, a to butanolu a E85. Analýza výsledků měření ukázala, že produkce emisí CO u paliva E85 byly výrazně nižší při použití všech trysek oproti ostatním použitým palivům. U E85 byly také nejnižší emise HC a NO_x při minimálním a 50% zatížení. Při plném zatížení byly pak nejnižší emise HC u benzínu a emise NO_x měl nejnižší butanol. V celkovém součtu lze tedy říct, že alkoholová paliva mají nižší emise než benzín. Teploty výfukových plynů u paliva E85 vzrostly, což by mohlo mít nepříznivý vliv na životnost některých částí motoru. Výsledky měření ukázaly, že specifická spotřeba alkoholových paliv vzrostla oproti benzínu přibližně stejně, a to o 27 %. Na základě experimentálního měření lze říct, že motor s navrženými úpravami, a to s úpravou trysky a změněným palivovým vedením, může bez problému vykonávat svoji funkci na obě alternativní paliva.

Seznam použité literatury

- [1.] Jiří Kysela, Internetový magazín o automobilech, Ropa dochází! Co dál?
[online] URL: <http://www.autorevue.cz/tema-tydne-ropa-dochazi-co-dal_2/?forum>
- [2.] Miroslav Trnka: MALÝ SPALOVACÍ MOTOR NA ALKOHOLOVÁ PALIVA.
Liberec, březen 2012. 57s. Diplomová práce. Fakulta strojní. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí diplomové práce Michal Vojtíšek, M.Sc. Ph.D
- [3.] Milford Power Equipment, Carburetor Overhaul Kit. [online] URL:
<<http://www.milfordpower.com/Genuine-Briggs-Stratton-495606-Carburetor-Overha-p/495606.htm>>
- [4.] M. K. Balki , C Sayin, M. Canakci : The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. Fuel 2012.
- [5.] M. Bahattin Celik: Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine. Applied Thermal Engineering 28, 2008, s. 396–404
- [6.] I. Gravalos, D. Moshou, Th. Gialamas, P. Xyradakis, D. Kateris , Z. Tsiropoulos: Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lower-higher molecular mass alcohol blended gasoline fuels. Renewable Energy, 50, 2013, s. 27-32
- [7.] EPA Finalizes Emission Standards for New Nonroad Spark-Ignition Engines, Equipment, and Vessels. [online] URL: <<http://www.epa.gov/otaq/smallsi.htm>>
- [8.] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/88/ES. [online] URL:
<[http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/7C4171C0363E6E96C1256DDA003D8B3E/\\$file/32002L0088Fin.pdf](http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/7C4171C0363E6E96C1256DDA003D8B3E/$file/32002L0088Fin.pdf)>

- [9.] Worldwide Emissions Standards Heavy Duty and Off-Highway Vehicles.
[online] URL: <<http://delphi.com/pdf/emissions/Delphi-Heavy-Duty-Emissions-Brochure-2012-2013.pdf>>
- [10.] Ing. Lucie Kunteová, Výzkumný ústav cukrovarnický Praha a. s. Bioetanol,
[online] URL:<http://stary.biom.cz/sborniky/sb98PrPetr/sb98PrPetr_kunt.html>
- [11.] Václav Sladký, Biom.cz, Biobutanol – vhodnější náhrada benzinu. [online]
URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-vhodnejsi-nahrada-benzinu>>
- [12.] Honda Motor Co, Ltd.: Owners Manual Gx22·Gx31 [online]. 2003. [online]
URL: <<http://engines.honda.com/parts-and-support/owners-manuals/gx31>>
- [13.] Rotary throttle valve carburetor. Patent No: US 7,114,708 B2 [online] URL:
<http://www.freepatentsonline.com/7114708.html>
- [14.] Ineos, HDPE Chemical Resistance Guide. [online] URL:
<<http://www.ineos.com/Global/Olefins%20and%20Polymers%20USA/Products/Technical%20information/INEOS%20HDPE%20Chemical%20Resistance%20Guide.pdf>>
- [15.] Prodej průmyslových hadic, Hodjánek. [online] URL:
< <http://www.hadice.info>>
- [16.] Marek Mikeš: Konstrukce malého brzdového stanoviště se spalovacím motorem Honda. Liberec, květen 2011. 59s. Bakalářská práce. Fakulta strojní. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Blažek Ph.D
- [17.] Teflon PTFE Chemical Compatibility Reference Chart. [online] URL:
<<http://www.calpaclab.com/PTFE-PFA-and-Teflon-Chemical-Compatibility-Chart-s/832.htm>>

- [18.] Jan Kamínek, Letecký modelářský klub, Membránové karburátory. [online]
URL: <http://www.lmkbabice.cz/?p=216>
- [19.] Jiří Čech, Automobilová technika, karburátor. [online] URL:
<http://www.progres-racing.cz/clanky/motor/karburator/>
- [20.] Václav Sladký, Biom.cz, Biobutanol jako kvalitní náhrada benzinu. [online]
URL: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-jako-kvalitni-nahrada-benzinu>
- [21.] Firma Gumex, Tabulka chemických odolností. [online] URL:
<http://www.gumex.cz/html/tabulka-chemickych-vlastnosti.html>
- [22.] Proplasticsinc, Plastics for industry, Chemical Resistance Guide. [online]
URL: http://www.proplasticsinc.com/chemical_resistance_guide.pdf
- [23.] Jan Stacha, Týden.cz, Ford Focus Flexifuel, [online] URL:
<http://m.tyden.cz/rubriky/auta/testy/ford-focus-flexifuel-budeme-jezdit-na-brambory_519.html>
- [24.] VLK, F., Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vydání. Brno:
Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [25.] Doc. Ing. Michal Takáts, Měření emisí spalovacích motorů, vydavatelství
ČVUT, Praha 1997, kapitola 2, s 16-22, 80-01-01632-3.
- [26.] Prof. Ing. Celestýn Scholz Ph.D., Vozidlové motory, Podklady z přednášek
ke studiu, Přednáška 5, s. 1, [online] URL:
<<http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/ZVM/ZVM-5pr.pdf>>